

## 2019年度(第5回)研究報告

| NO. | 氏名                 | 所属研究機関・職名        | 研究課題                                         | ページ   |
|-----|--------------------|------------------|----------------------------------------------|-------|
| 1   | ウエノ カツヒサ<br>上野 勝久  | 東京芸術大学大学院<br>教授  | 千葉県に残る特異な形態の本堂内宮殿(厨子)に関する建築史的<br>研究          | 1～4   |
| 2   | オオウエ ナオキ<br>大上 直樹  | 京都美術工芸大学<br>特任教授 | タスキスミ<br>襷墨による社寺建築の軒の決定法について                 | 5～10  |
| 3   | オオノ サトシ<br>大野 敏    | 横浜国立大学大学院<br>教授  | 正倉院所蔵の紫壇塔部材および黒漆塗六角厨子部材の復元的<br>考察            | 11～14 |
| 4   | キタノ ヒロシ<br>北野 博司   | 東北芸術工科大学<br>教授   | 石積み技能者の伝統技術に関する歴史考古学的・土木工学的研<br>究            | 15～20 |
| 5   | クロヤナギ アキオ<br>畔柳 昭雄 | 日本大学<br>特任教授     | 厳島神社に見る海上立地の計画的・技術的・構法的な対応に関<br>する研究         | 21～24 |
| 6   | ゴトウ マサミ<br>後藤 正美   | 金沢工業大学<br>教授     | 南砺市に現存する伝統木造合掌建物の耐震性能評価に関する研<br>究            | 25～31 |
| 7   | タキヤマ ノリコ<br>多幾山 法子 | 首都大学東京<br>准教授    | 伝統構法で建てられた土蔵の耐震性評価基準の緩和提案を目指<br>した破壊メカニズムの解明 | 32～35 |
| 8   | タブチ アツシ<br>田淵 敦士   | 京都府立大学大学院<br>准教授 | 壁土の水合わせ期間最適化に関する基礎的研究                        | 36～41 |
| 9   | ナカオ ナナエ<br>中尾 七重   | 山形大学<br>客員研究員    | 重文堀家住宅(賀名生皇居)の当初復元研究                         | 42～45 |
| 10  | ヒラガ<br>平賀 あまな      | 東京工業大学<br>特任准教授  | 桂離宮御殿群修理の研究－戦後昭和期の文化財修理理念の発<br>展－            | 46～52 |
| 11  | ミズノ リョウコ<br>水野 僚子  | 日本大学<br>助教       | 旧海軍施設を中心とした近代建築における使用鋼材に関する研究<br>(継続研究)      | 53～56 |

※50音順

※原則、所属研究機関・職名は申込時を記載。

「千葉県に残る特異な形態の本堂内宮殿(厨子)に関する建築史的研究」実績要旨・概要

東京藝術大学大学院美術研究科・教授 上野勝久

芝浦工業大学建築学部・助教 小柏典華

## 1. はじめに

近世社寺建築の全国的調査は平成前半期に一段落し、この30年間にはその研究も着実に進んだが、地域性や多様性が顕著なため、現状は個別研究が求められている。

千葉県の南部地域にある大山寺不動堂の宮殿(以下、大山寺宮殿)は、国宝・重要文化財建造物の宮殿・厨子(17件、附指定を除く)と比較して、他に類のない特異な形態を有していることが明らかで、建築的価値と文化財価値を広く共有する必要がある。

本研究は建築史学として新たな類型を示すため試みである。令和2年度は、大山寺宮殿の独創的な建築意匠や構造を解明し、建築年代も元禄12年(1699)と推定できた。令和3年度は、実地調査により大山寺宮殿の各種図面を作成し、さらに痕跡等の詳細調査から、その建設経緯を検討した。さらに類例として、館山市にある那古寺観音堂の宮殿を調査し、比較考察した。なお、令和2年度の成果は、2021年9月の日本建築学会大会(東海)で発表した。

## 2. 研究の目的と概要

近世社寺建築の全国的な調査は平成の前期に一段落し、この30年間にはそうした調査成果に基づく研究が着実に進んできたが、近世社寺建築は地域性や多様性が顕著であり、さらなる個別研究が求められているのが現状である。大山寺は、千葉県鴨川市、房総半島の内陸部に所在する真言宗寺院である。境内は大山の中腹に構え、東西に細長い平坦地には享和2年(1802)建築の不動堂(千葉県指定文化財)と18世紀中期頃の鐘楼(鴨川市指定文化財)、一段下がったところに19世紀中期頃の仁王門(鴨川市指定文化財)が建っている。不動堂の内陣には大型の宮殿(厨子)(以下、大山寺宮殿と記す。)があるが、これまで詳細な調査が行われておらず、構造形式や建築年代などが判明していない。本研究では詳細な調査をもとに構造形式を分析し、建設経緯と建築年代などを考究し、類例と比較して、大山寺宮殿の建築的価値を明確にした。

## 3. 大山寺と不動堂宮殿の概要

大山寺は、神亀元年(724)に良弁僧正を開基として創建されたという伝承があるが、詳しいことはわからない。不動堂の本尊である木造不動明王坐像及び両脇土像(千葉県指定文化財)は、様式から鎌倉時代中期の作と考えられ、また13点の中世文書(千葉県指定文化財)が現存しており、中世には地域の有力寺院であったと推察される。

中世の変遷は詳しくわからないが、天正14年(1586)の「大山寺不動堂棟札」(個人蔵)があり、現在の不動堂の前身堂があったことが明らかである。



図1 大山寺不動堂の外観(北東より)

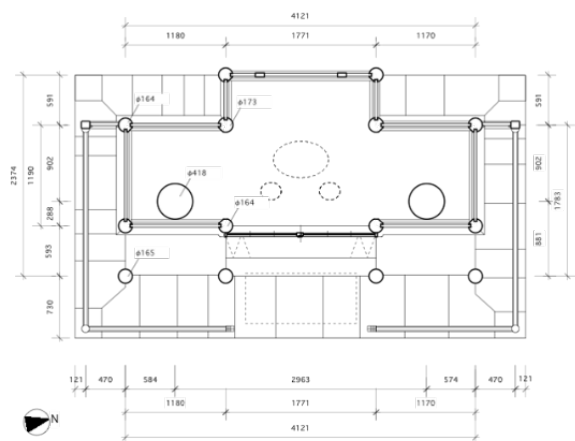


図2 大山寺宮殿平面図(単位:mm)

不動堂は、棟札より享和2年の建築である。大工棟梁は平郡本織村（現三芳村）の伊丹喜内英俊と長狭郡大桑村（現鴨川市）の畠山喜右衛門安國であった。向拝中備の龍彫物は裏面刻銘から、彫物師武志伊八郎信由（初代伊八）の作とわかる。東を正面とする不動堂は、桁行5間（12.8メートル）、梁間5間（12.8メートル）で、正面に向拝1間を付け、四周に擬宝珠高欄付切目縁を廻す。屋根は入母屋造、銅板葺、向拝に軒唐破風を設け、妻飾は二重虹梁大瓶束である（図1）。

宮殿は不動堂内陣中央の後方にあり、内部の太い2本の円柱は背面入側通り柱筋より902ミリメートル（約3尺）前方に位置している。柱間寸法をみると、2本の円柱は2963ミリメートル（9.78尺）で、不動堂の桁行中央間3490ミリメートル（11.52尺）の柱筋と揃っていない。しかも、この2本の円柱は現在の不動堂の軸部と連結しているところがない。

つまり、2本の円柱は現在の不動堂の来迎柱とは考えられず、大山寺宮殿が享和2年以降の改造とは思われない。部材や壁面に流麗な彫物が多用されているが、渦文や木瓜文などの絵様繰型は不動堂のものと形状や彫方で大きく異なり、年代が不動堂より古いことを示している。

#### 4. 大山寺宮殿の形式と構造

大山寺宮殿は、正面3間、側面2間で、正面1間通りを吹放しとし、背面中央間の1間を縁の出の大きさに突出した平面である。側廻りは正面入側通りの中央に両開き三ツ折棧唐戸、背面中央張り出しに両開き板扉を入れるが、ほかは板壁とする（図2）。上重は正面中央に千鳥破風を設けた切妻造、下重が四隅に隅木を入れた四注造になり、正面と両側面に軒唐破風を付ける。木瓦棒板葺で、軒は二軒繁垂木である。下重は円柱で長押、頭貫で固めた軸部に台輪を廻し、二重尾垂木付の三手先組物の詰組とする。上重は下重屋根上端の居を据え、拳鼻付出組の詰組とする（図3）。

須弥壇は四周を縁状に廻し、正側面の三方に禅宗様高欄、両側面後方には脇障子を設けている。須弥壇は三段構成になっており、下段は刳型の框を積み上げ、中段は太鼓張り状の束を立ててその間に彫刻を入れ、上段は彫刻拳鼻付きの三手先腰組とする。

通常、本尊を安置する宮殿や厨子は、内陣の床上に須弥壇をつくり、その上に安置される建築もしくは箱型のものが一般的である。大山寺宮殿は、内陣床上に置かれた須弥壇に載っているように見えるが、柱は須弥壇上板を貫通して、下に延びている（図4）。



図3 大山寺宮殿の外観

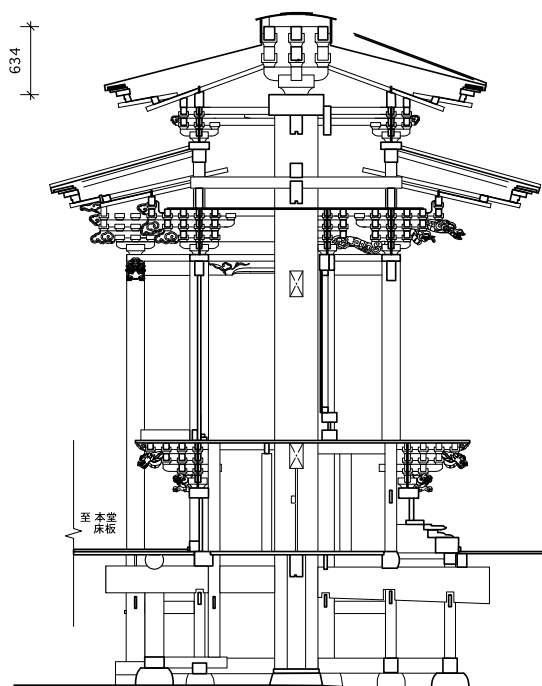


図4 大山寺宮殿の梁間断面図（単位：mm）

このように、大山寺宮殿は内部に立つ2本の円柱からなる骨格部、その円柱を囲む外殻部、さらに下部を取り巻く須弥壇部という、3つの構造体で形成されていることが判明した。現在の不動堂とは床組が繋がっておらず、宮殿は不動堂本体と分離独立した構造体になっている。

## 5. 大山寺宮殿の建設経緯と年代

内部の2本の円柱は礎石建で、現在は足固貫、飛貫、頭貫を通し、頂部には台輪を載せ、足固貫の下には前後に大引が入っている。また、足固貫と飛貫の間には腰と内法の位置に柄穴があって、腰貫と内法貫が通っていたことがわかる。さらに腰と内法の位置は背面側にも柄穴があって、部材が背面側に取り付いていたこともわかる(図5)。足固貫、飛貫、頭貫、台輪は材質と部材断面が現在の不動堂のものと合わず、不動堂とは異なる仏堂のものと判断される。台輪から棟の間には組物が組まれており、太い円柱を繋いでいる頭貫と台輪、飛貫を考え合わせると、これらは不動堂の前身仏堂の一部であったことが明らかである(図6)。

大山寺宮殿の建築的特徴は宮殿のみで建築形態が完結している点であるが、それは前身の仏堂の一部を再利用してつくられたという通常と異なる形成過程によると思われる。さらに、立派な宮殿を囲み込む覆屋のように、現在の不動堂が建設されたと考えられる。

現在の不動堂は享和2年の建築と判明しているが、大山寺宮殿の完成した年代は虹梁や木鼻の絵様などから、様式的には1700年前後と推定される。棟札などの資料が確認されていないが、下重組物の通肘木に記された墨書は組立時にしか記すことができない位置にある。全文が読み取れないものの、「元禄12年12月」と推測できる箇所が確認できた。したがって、大山寺宮殿の建築年代は極めて高い確率で元禄12年(1699)と考えられる。

## 6. 那古寺観音堂の宮殿

那古寺は千葉県館山市に所在する真言宗寺院で、観音堂は享保17年(1732)の建築、その内陣にある宮殿(以下、那古寺宮殿と記す。)は天明元年(1781)の新造である(図7)。那古寺宮殿は、正面3間、側面2間で、正面1間を吹放ちとし、背面中央間のみを突出した平面形式である(図8)。屋根は二重で、上重が切妻造、下重が四注造で正面と両側面に軒唐破風をつけ、木大山寺宮殿とほぼ同様の構成・意匠であるが、軸部は観音堂の床上に据えた土台から柱を立てて組み立てており、形式や意匠の面で、大山寺宮殿よりも成熟・洗練された感がある。

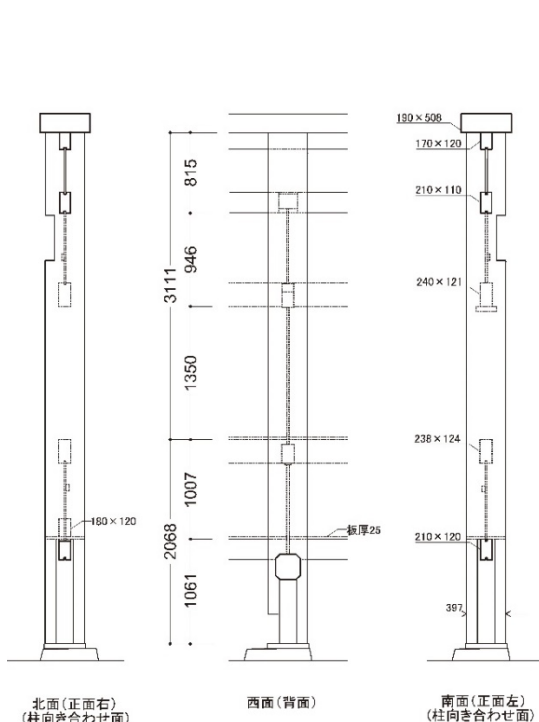


図5 大山寺宮殿の内部柱の痕跡図(単位: mm)

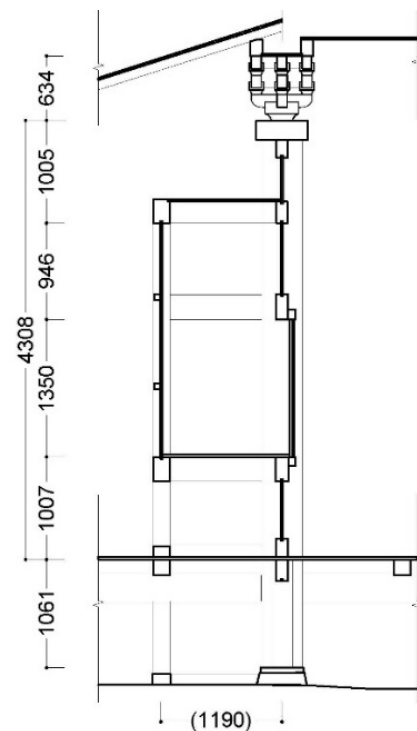


図6 大山寺宮殿の当初軸組推定図(単位: mm)

大山寺宮殿と那古寺宮殿は、いずれも二重屋根で、正面1間を吹放ちとし、細部を彫刻・彩色で密に彩る点など、全体の構成・規模・細部意匠に共通性があり、ともに類のない特異なものである。幸いにも、那古寺観音堂が享保17年、那古寺宮殿が天明元年、大山寺本堂が享和2年と、それぞれの建築年代が明確であり、大山寺宮殿は元禄12年という年代が推定できた。その結果、この2棟の宮殿には、その構造や建設過程に違いがみいだせる。



図7 那古寺宮殿の外観

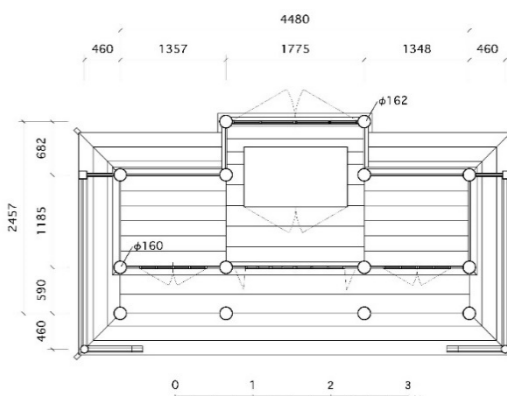


図8 那古寺宮殿の平面図（単位：mm）

## 7. まとめ

大山寺宮殿の構造形式について、文化財建造物の通例に倣った表記を試みると、「宮殿及び須弥壇桁行3間、梁間2間、背面中央部1間張り出し、四周須弥壇付、二重、上重切妻造、正面千鳥破風付、下重正面及び両側面軒唐破風付、木瓦棒板葺」となる。国宝重要文化財建造物の厨子（宮殿）と照合すると、この表記に合致するようなもの、同じようなものを見出すことができない。国宝重要文化財の附指定となっている厨子等159件と照合しても、同様である。これにより、大山寺宮殿は従来の文化財建造物に類例のない特異な構造形式となる。現時点では、大山寺宮殿と平面形式・構造形式がほとんど同じになる類例是那古寺宮殿であるが、ほかの建築と関係する可能性があるのかは課題である。今後、建築的価値・文化財価値の定まっていない大山寺宮殿・那古寺宮殿の評価により、近世における信仰の様相と文化の伝播を再認識することができる可能性がある。

最後に、今回の調査研究で山田修氏が作成した大山寺宮殿のAR画像を掲載しておく（図9）。



図9 「Augmented Reality」により作成した大山寺宮殿の外観（正面）

# 櫺墨による社寺建築の軒の決定法について

## STUDY OF HOW TO DETERMINE THE EAVES OF SHRINES AND TEMPLES BY TASUKI LINE

大上 直樹\*  
Naoki OOUE

**Keywords :** TASUKI LINE, EAVES, SHRINE AND TEMPLE ARCHITECTURE, FRONTAGE,  
櫺墨, 軒, 社寺建築, 表の間

はじめに

本研究は軒の高さを定めるに際して、櫺墨が用いられているのではないかと仮説を提唱し、実際の遺構によって確認しようとするものである。また、軒の櫺墨は彼岸や冬至における太陽南中高度にも関係している場合もあることを併せて指摘するものである。

### 第1章 櫺墨について

#### 第1節 3つの基準墨 陸墨・立墨・櫺墨

陸墨は水平の基準墨、立墨は垂直の基準墨であり、櫺墨は傾斜した基準墨であり、建築各部はこの3つの基準墨のうち二つの基準墨の交点によって、高さや出などの諸寸法が決まる。

また、櫺墨は勾配として表現される場合も多い(図1-1)

#### 第2節 社寺建築における櫺墨の使用法

**鳥居の笠木・嶋木、貫：**櫺墨の使用例で代表的なものが鳥居の横架材の水平方向の出の決定である。笠木等はすべて、柱足元を起点とする櫺墨によって決定される(図1-2)。起点については木割書によって若干の相違がある。

**高欄：**和様刳高欄先端の架木、平桁の小口の切様も地覆上角を起点とした櫺墨によって決定されることが知られる(図1-3)。

**脇障子笠木：**脇障子親柱を起点とする櫺墨によって笠木小口の切様が決められる。これも木割書で若干の相違がある(図1-4)。

#### 第3節 現代建築における櫺墨

現代の戸建て住宅の軒の決定には櫺墨がつかわれている。戸建て住宅の場合、軒の出や勾配はほぼ一定であるので、軒の高さについては櫺墨で決めるとする。その手がかりになる勾配は、夏至・春分・秋分そして冬至の南中高度である。この軒の決定法は建築計画学では広く知られている。

図1-5の如く軒の出と高さを定めると、夏至太陽の南中高度は縁の外に落ち、春分・秋分は縁と居室境になり、冬至には室内奥まで日光が射すというのである。

#### 第4節 本研究の視座

以上櫺墨が我国の建築設計において、水近世以前の社寺建築に限らず現代においても、平材の出や高さを決定するに長く使用されてきた事例を示した。本稿では、そうした櫺墨が軒の出や高さの決定に使用されてきた歴史を読み解こうとするものである。

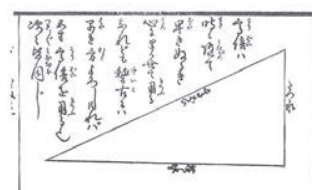


図1-1 勾配

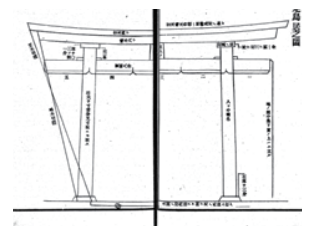


図1-2 鳥居の櫺墨

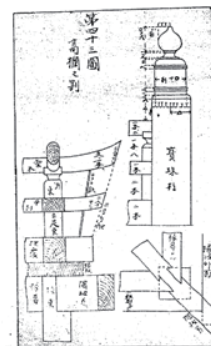


図1-3 勾欄の櫺墨

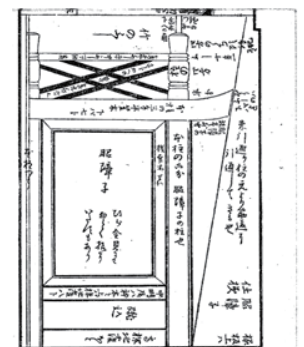


図1-4 脇障子笠木の櫺墨

ここで、本研究における櫺墨の定義は、「櫺墨とは、我国の歴史的建造物の寸法決定手法のひとつで、勾配を有する基準墨である。高さを示す陸墨と、ある基準から引き出された勾配線との交点によって、空間上の一点を定める傾斜した基準墨のことをいう。」とする。

さらに本稿では、春分・秋分、冬至の南中時の角度について、特に着目したい。それぞれは、勾配で表示すると大変重要な事実が見えてくる。

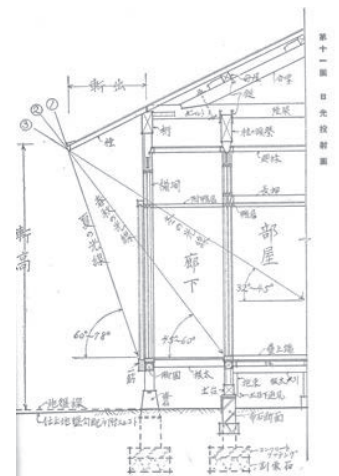


図1-5 日光投射図

\* 京都美術工芸大学 建築学科 特任教授・博士(学術)

Professor, Dpt. of Architecture, Kyoto arts and crafts Univ., Ph.D

春分・秋分の正午の日射角度は約 55 度であるが、この角度を勾配で示すと 1.418/1.000 となる。これは、ほぼ 1.4/1.0 勾配であり言い換えると  $\sqrt{2}/1.0$  勾配である。つまり、春分・秋分の正午の日射の勾配は  $\sqrt{2}$  勾配（白銀比勾配）になっているのである。

また冬至の正午の太陽角度は約 32 度であるが、勾配で表記すると 0.62/1.00 となる。つまり、黄金比勾配になっているのである。

この奇跡的な四季と太陽の南中高度の関係は、我国の緯度によって定まった自然の現象であるが、現代の住宅設計においても至極自然な背景として存在していたのである。

次章では、春分・秋分や冬至の南中高度を禪墨として、中世方丈建築において使用されていた事例を紹介したい。

## 第2章 東福寺竜吟庵方丈の軒と禪墨について

### 第1節 竜吟庵方丈の概要

竜吟庵方丈 1 棟 室町時代 嘉慶元年 (1387) 額銘

桁行 16.5 m、梁間 12.9 m、一重、入母屋造り こけら葺

附 玄関 1 棟 桃山時代

### 第2節 方丈の軒と禪墨

#### 広縁廻り

方丈の正面の向きは、筆者の測定で真南から東へ 3～4 度ほど振れているが、ほぼ正確に何面していると言えるであろう。

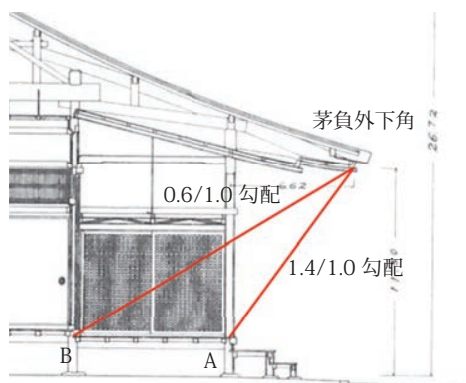


図 2-1 竜吟庵方丈の広縁廻りと軒の禪墨



写真 2-1 秋分正午における広縁の日射



写真 2-2 冬至正午における広縁の日射

方丈の南側全面が広縁で、その南側には落縁、簀の子縁が取りつく。屋根は全面化粧屋根裏である。広縁の奥行は他の方丈建築に比しても広く 8.50 尺で他の方丈建築に比べても広い。

広縁・室中境の断面矩計は図 2-1 のとおりで、軒出が側柱真から 6.62 尺、広縁上端から軒桁口脇高さが 11.03 尺。広縁上端から茅葺外下角までの高さは 9.22 尺である。

#### 軒における禪墨の検討

南面する正面広縁の要所、ここでは広縁床上端を基準に広縁前境柱真（これを A 点とする）と広縁後端（室中境）柱真との交点（同じく B 点とする）の 2 箇所と茅葺外下角を結んだ禪墨を作図し（図 2-5）、その勾配を計算すると、

茅葺外下角・A 点を結んだ禪墨勾配は、

$$9.22 \text{ 尺} / 6.62 \text{ 尺} = 1.3927 \dots$$

茅葺外下角・B 点を結んだ禪墨勾配は、

$$9.22 \text{ 尺} / 15.12 \text{ 尺} = 0.6097 \dots$$

それらの禪墨の勾配を端数処理すると、A 点は 1.4/1.0 勾配、B 点は 0.6/1.0 勾配となる。

以上の勾配は、前章で示したように、A 点からの禪墨は春分・秋分の正午の太陽の日射の勾配（ $\sqrt{2}/1.000$  勾配）にほぼ一致し、B 点からの禪墨は冬至の正午の日射の勾配（黄金比  $\phi = 0.618/1.000$  勾配）と略同じである。

実際の秋分（春分）、冬至の正午において広縁に射す日射の状況を札性した写真が、写真 2-1（2019 年秋分）と写真 2-2（2020 年冬至）である。

#### 表門、方丈および前庭の関係

さらに推察を加えよう。方丈広縁前には庭があり、その南方 21.3 尺には表門が配されているが、表門が落とす影にも計画上の意図があるように思われる（方丈と表門の距離 21.3 尺は、方丈庇柱真から表門背面柱真までである。寸法は修理工事報告書の配置図を参照した）。

それは、冬至だけであるが特徴的な関係性が出現する。冬至の正午において、表門の切妻屋根中央の駒額の頂部が、ちょうど方丈軒下の雨落ちに落ちることが、作図で判明するのである（図 2-2）。実際の状況は、冬至正午の写真である写真 2-2 でも確認できる。

表門は桃山期の作で、後世に現在の位置に移築されたものである

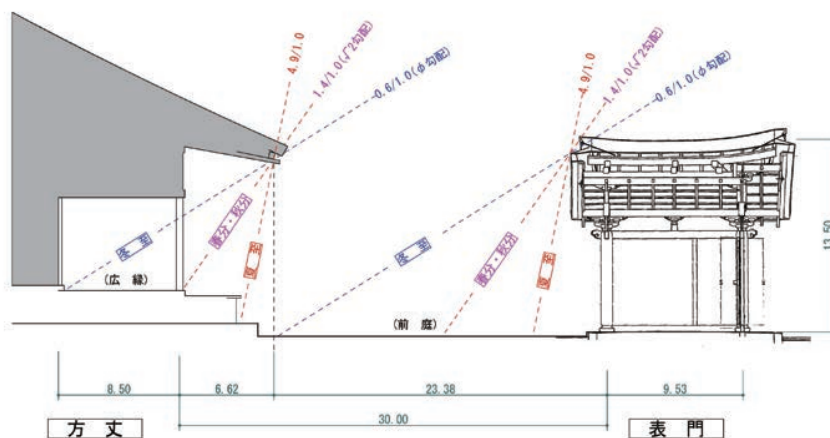


図 2-2 方丈と表門における春分・秋分、冬至、夏至の日射の関係

が、その時に改造されたことが判明している。その改造は些か特異なもので、断面図でも判るように、背面側の蟬羽の出が正面より短いことから、背面側を切縮めたと考えられる。

冬至の正午における表門の日射の勾配は 0.61/1.00 であるから、その勾配は黄金比勾配であり、前庭奥行と表門の棟高の関係も黄金比の関係になるように計画されているのである。

### 第3節 軒の出の決定について

#### 軒の出と高さの決定

軒の出と高さ、つまり茅負の位置のうち軒の出の決定法について、筆者は「軒比率」という概念を本稿で提案したい。通常は建物の正面間口である表の間（ワゼ＝外法）に対する茅負長さの比率である（表の間といっても正面とは限らず軒先と同じ面でよい）。

そして、軒の高さは櫺墨で定めるのである。

軒の出 ⇨ 軒比率（立墨）

軒の高 ⇨ 櫺墨と軒比率（立墨）の交点

#### 軒比率

軒の出は規模に応じて、表の間のダキ（外法寸法）に一定の比率で決められている。ここで軒の出というのは、通常の軒の出だけでなく、切妻造りの蟬羽の出も含む。

規模別に具体的にいうと、表の間のダキ（外法）に対して、多少の前後はあるが、概ね以下の比率になっている。

表の間が一間の場合は、1.7 ～ 2.0

三間の場合は、1.4、1.5、1.6

五間の場合は、1.3

七間の場合は、1.2

七間以上の場合、1.2 以下

#### 竜吟庵方丈の軒比率（図 2-3）

「軒比率」理論で竜吟庵方丈の軒の出の根拠を検討すると（正面の軒の出なので梁間で検討する）、

梁間真々 6.80 尺 × 5 間 + 8.50 尺（広縁）= 42.50 尺

柱の寸法 0.48 尺

したがって、梁間のワゼ寸法は、42.50 尺 + 0.48 尺 = 42.98 尺

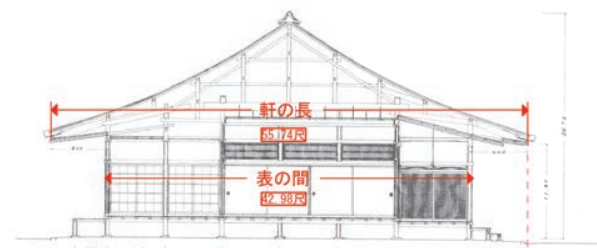


図 2-3 竜吟庵方丈の軒比率による軒の出の決定

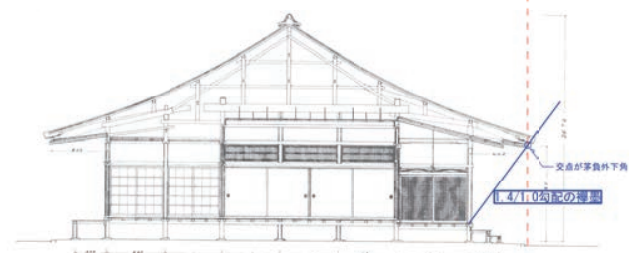


図 2-4 竜吟庵方丈の櫺墨による軒の高さの決定

軒の出 6.62 尺

正面軒の出から背面の軒の出までの長さ（軒長さと呼ぶ）は、

$$42.50 \text{ 尺} + 6.62 \text{ 尺} \times 2 = 55.74 \text{ 尺}$$

梁間ワゼ寸法と軒長さの比と求めると、

$$55.74 \text{ 尺} / 42.98 \text{ 尺} = 1.29688 \dots \div 1.30$$

となり、極めて誤差の少ない明快な比率になっていることが判明する。軒長さ（正面中央茅負外下角から背面中央茅負外下角までの長さ）は、梁間ワゼ寸法の 3 割増しであり、その半分がつまり梁間ワゼの 1.5 割が平の軒の出に設計されていることを説明できる。

なお、この軒の比率の値 1.3 は、仏堂では五間堂と同様の比率であることを指摘出来る。

#### 竜吟庵方丈の軒の高さの決定（図 2-4）

こうして求めた軒の出であるが、茅負の水平方向の位置が決まっただけであり高さは決っていない。そこで、本稿で課題としている櫺墨である。すでに決められた軒の出に、櫺墨を加えて軒の出との交点を求めれば、茅負の位置を一義的に定められる。

さて、広縁前端的柱真上の広縁上端を起点に、そこから 1.4/1.0 勾配の櫺墨を引くと、軒の出の立墨との交点が軒の高さになる。1.4/1.0 勾配は春分・秋分の太陽南中時の日射角度にもなっていることから、竜吟庵方丈の櫺墨は太陽の運航つまり季節の移ろいを反映したものを採用したと推察される。

こうした軒の出と高さの決定法は、竜吟庵方丈だけで見られる技法ではなく、他の建物においても広く用いられていた可能性が考えられる。

なお、軒比率については、本編で詳細と実際例を述べたが、梗概では紙幅の都合で割愛した。

### 第3章 櫺墨の検証 I 仏堂・仏殿

#### 第1節 軒の決定と櫺墨について

前章で述べたとおり軒は、中世以前の時代の軒の出は、表の間を基準にその整数比で決まり、「軒比率」と呼ぶ。軒の高さは軒の出と礎石等の天端を起点に作図された「櫺墨」との交点で決定される。と、考えられることを提示した。

本章では、寺院本堂（金堂）・仏殿の軒 121 例の決定について検討をおこなった。なお、「櫺墨」の起点が問題になるが、内部を土間とする場合は、側柱の礎石上端における柱真が基本とし、床を張る場合は、床天端における側柱真であることを念頭に検討した。ただし、床張りの仏堂であっても、礎石天端が起点になっていると思われるものも確認されたが、そのような特殊な事例は、適宜両方の可能性の検討おこない判断した。また本章については軒比率と櫺墨の両方を検討し主要なものの一部を図面に示めすが、その他の検討結果は本編に一覧表を掲げ梗概では割愛した。

#### 第2節 古代の仏堂

##### 唐招提寺金堂

① 軒の出：修理工事報告書の復原図を参照にすると、表の間ワゼに対し軒の長さは 7：9（1.29 倍）という比になる。中世の七間堂の場合の軒比率は 1.2 より深い軒であるということができる。

② 軒の高さ：櫺墨は側柱礎石上端の柱真を基準に茅負外下角を結ぶと、その勾配は 1.5/1.0 になる。非常に簡明な櫺墨の値であり、計画性が窺われる。

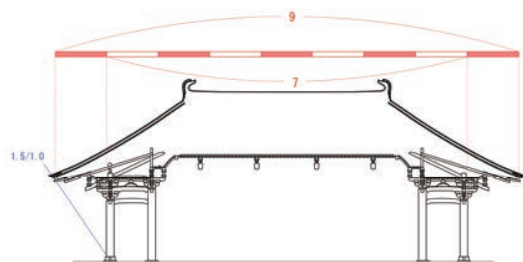


図 3-1 唐招提寺金堂の軒比率と檼墨

#### 平等院鳳凰堂

- ① 軒の出：中堂身舎の表の間ヲゼに対して、軒の長さの比は、3：5（1.66 倍）と極めて明快な比率になっている。
- ② 軒の高さ：身舎礎石天端の柱真から茅負を結んだ檼墨は、2.0/1.0 勾配という計画性が認められる勾配になっている。

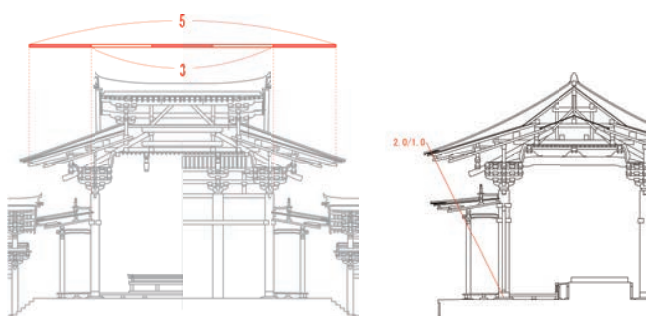


図 3-2 平等院鳳凰堂身舎軒の軒比率と檼墨

#### 第 3 節 中世の仏堂 鎌倉時代

##### 西明寺本堂

鎌倉時代初期に五間堂として建立されたが、室町時代前期頃に七間堂一旦拡張された。今回は当初の五間堂時代に復原したもので検討をおこなった（当初軒の出等は現状とほぼ同じである）。

- ① 軒の出：軒比率を検討すると、表の間中墨で検討すると、大変よく説明できる。表の間と軒の比率は 3：4（1.33 倍）となり、五間堂として標準的な軒の出といえることができる。
- ② 檼墨：中世仏堂は床を張るのを基本とするから、床天端における側柱真位置と茅負外下角を結ぶと、1.4/1.0 勾配を得る。これも中世仏堂の基本的な勾配である。この勾配は  $\sqrt{2}$  勾配であり、春分・秋分に太陽南中高度である。この本堂は正面が西を向いているので向かって右側面が南である。写真 3-1 は、2020 年 3 月 20 日の秋分の日の下午の正午の日影を撮影したものであるが、軒の影はちょうど長押の外下角付近にくることがよくわかる。

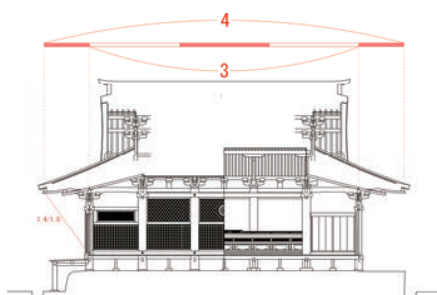


図 3-3 西明寺本堂の軒比率と檼墨



写真 3-1 西明寺本堂全景（秋分）

#### 浄土寺浄土堂

- ① 軒の出：軒比率は、表の間ヲゼに対して、垂木先鼻隠し板まで、4：5（1.20 倍）になっている。和様三間堂の一般的な値より軒の出は短い、大仏様という特殊性と見てよいだろう。
- ② 檼墨：床天端の側柱真から垂木先（上端）を結ぶと、その勾配は 1.6/1.0 となる。この勾配は黄金比勾配である。浄土堂は建物全体の縦横の比率も 1：1.6 つまり黄金比になっていて、寸法決定において積極的に黄金比の使用が認められる。

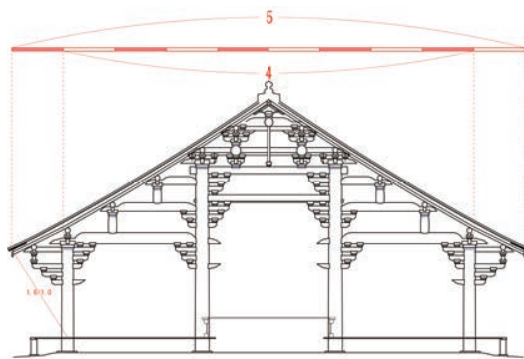


図 3-4 浄土寺浄土堂の軒比率と檼墨

#### 第 4 節 中世の仏殿・仏殿 室町時代

##### 延暦寺転法輪堂（釈迦堂）

- ① 軒比率：梁間ヲゼに対して、軒の長さは、4：5（1.25 倍）に決定されている。七間堂の仏堂は軒比率 1.2 倍になるもののがほとんどで標準的な軒の出といえることができる。
- ② 檼墨：外陣床天端の側柱真を起点に、茅負外下角を結ぶと、1.4/1.0 勾配を得る。西明寺本堂などと同じ勾配である。

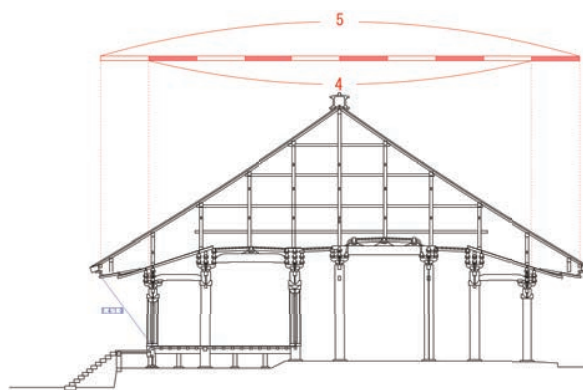


図 3-5 延暦寺転法輪堂の軒比率と檼墨

##### 円通寺本堂

- ① 軒比率：表の間ヲゼに対して、軒長さは 5：8（1.6 倍）に定めている。つまり、軒は黄金比で決められている。ちなみに柱の高さも黄金比によって定められていて、他の仏堂に比較して立ちが高い。
- ② 檼墨：禅宗様仏殿で土間式である。礎石上端の側柱真を起点に茅負外下角を結ぶと、2.0/1.0 勾配を得る。

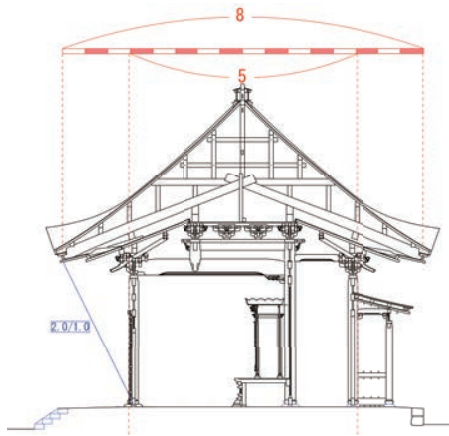


図 3-6 円通寺本堂の軒比率と檼墨軒比率と檼墨

#### 第5節 近世の仏堂

##### 善光寺経蔵

- ① 軒比率：表の間ヲゼに対して軒の長さは5：7（1.4倍）になっている。
- ② 檼墨：土間式の経蔵で、礎石上端の側柱真と茅負外下角を結ぶと、2.0/1.0勾配になる。

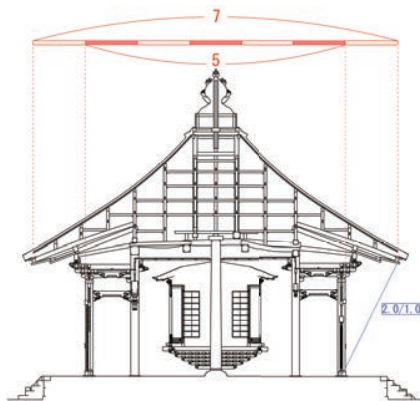


図 3-7 善光寺経蔵の軒比率と檼墨

#### 第6節 仏堂の軒の檼墨

仏堂において、今回データを整理した121の事例の檼墨の値を考察した結果は以下のとおり。

全平均は、1.6/1.0勾配である。規模は一間堂から三間堂、四間堂、五間堂、七間堂、九間堂、十五間堂及び六角堂までで、時代は飛鳥時代から江戸時代中期までである。

一間堂の平均は2.4/1.0勾配。事例も3例と少ないが、この規模は土間とし、全体の意匠も建ちの高いものとなるためであろう。

三間堂の全平均は、1.7/1.0勾配である。時代別に見ると、鎌倉時代が1.6/1.0。室町時代全期を通じての平均値は1.6/1.0で、その内訳は前期が1.8/1.0。室町時代中期が1.7/1.0。室町時代後期が1.6/1.0となる。桃山時代も1.6/1.0。江戸時代は1.8/1.0と緩くなる。江戸時代を除くと概ね1.6勾配になっている。

五間堂の全平均は、1.6/1.0勾配である。時代別に見ると、鎌倉時代は1.6/1.0。室町時代全体で1.5/1.0。その内訳は、前期が1.6/1.0。中期も1.6/1.0。後期が1.4/1.0である。桃山時代は1.5/1.0。江戸時代は1.7/1.0となる。室町時代後期が高い傾向が見られるが、五間堂も概ね1.6/1.0勾配が平均であると言えるだろう。

七間堂は全時代を通じて1.4/1.0勾配となる。鎌倉時代が1.5/1.0。室町時代が1.4/1.0で、事例の多い室町時代の値の影響が大きい。

総じて、規模が大きくなる方が、檼墨の勾配は緩くなる傾向があり、事例の多い三間堂と五間堂の檼墨はほぼ同じである。室町時代はもっとも事例が多いが、後期の檼墨がもっとも緩い（茅負高さが低い）傾向が認められる。

いずれにしても、檼墨の値（勾配）は、規模や時代に応じて、そう大きな幅があるものではなく、床を張るものは、1.4/1.0、1.5/1.0、1.6/1.0程度で納まっていて、組物の違いによる影響も認められない点は重要であろう。

#### 第4章 檼墨の検証Ⅱ 仏堂・仏殿以外

##### 第1節 神社本殿の檼墨について

神社本殿は84例の檼墨の検討をおこなった。

##### 苗村神社西本殿

浜緑上端で向拝柱真を起点に茅負外下角を結ぶと、檼墨3.0/1.0勾配を得る。

##### 第2節 拝殿・幣殿の檼墨

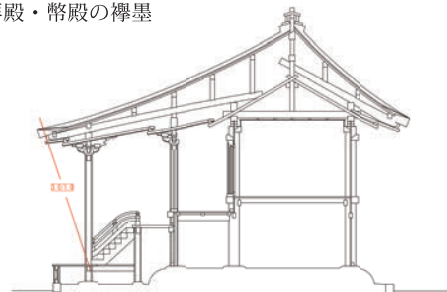


図 4-1 苗村神社西本殿 檼墨

拝殿・幣殿は13例の檼墨の検討をおこなった。

##### 石上神宮拝殿

拝殿は、鎌倉時代前期の建立と考えられている七間入母屋造りで、檼墨の勾配は側柱真で縁上端を起点に茅負外下角を結ぶと、1.4/1.0勾配を得る。したがって、東福寺竜吟庵方丈や西明寺本堂と同様に、秋分春分の日の中午には、縁と側柱境に軒の影が投影されるのであろう。

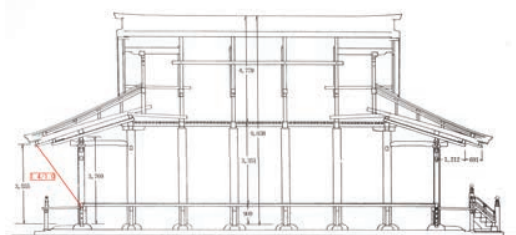


図 4-2 石上神宮拝殿 檼墨

##### 第3節 塔（三重塔・五重塔・多宝塔）の檼墨

塔は三重塔20例、五重塔9例、多宝塔9例の檼墨を検討した。

##### 如意寺三重塔

初層は縁長押上角を起点に茅負外下角を結ぶと、1.4/1.0勾配の檼墨となる。二層は土居桁上端上の柱真を起点に、茅負外下角を結ぶと1.2/1.0勾配を得る。三層も二層と同じ1.2/1.0勾配を得ることから、三重塔において軒の高さの決定するために、檼墨は重要な計画上の要素であると推察される。

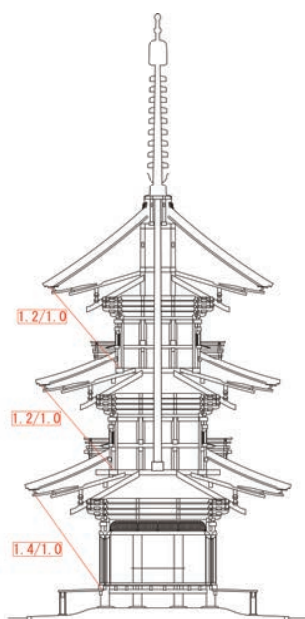


図 4-3 如意寺三重塔 禪墨

#### 第4節 門（四脚門、八脚門、楼門、二重門）

門については 30 棟の禪墨を検討した。

##### 久安寺楼門

軒の禪墨は上層床上端の側柱下端を起点に作図をおこない同楼門は 0.8/1.0 勾配であった。楼門は 1.0/1.0 程度ののきの深いものと 2.5 ～ 3.0/1.0 勾配の軒の高い二種類が認められた。

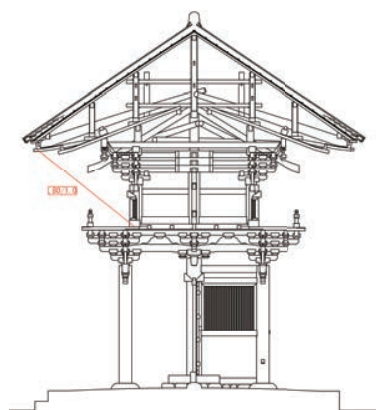


図 4-10 久安寺楼門 禪墨

#### 第5章 結 語

##### 本堂・仏殿建築

本堂や禅宗様の仏殿建築は、寺院建築の技法において基準となる主要なものである。ただ、禪墨を作図する基準においては、奈良時代の金堂や禅宗様仏殿などの土間建築と、平安時代以降の床を張った和様では起点の位置が異なる。

土間の遺構は礎石上端の側柱真を禪墨の起点にする。対して、床を張ったものは床上端の側柱真を起点に茅負外下角を結んだ勾配とした。なお起点については今後の課題として精査する必要がある。

##### (1) 土間式の寺院建築

奈良時代の金堂や禅宗様仏殿のように、土間式建物の場合の禪墨の値は、2.0/1.0 勾配程度のものが大変多い（平等院鳳凰堂他）。ま

た、中尊寺金色堂も床を張るが礎石上端を起点として 2.0/1.0 勾配にしているようだ。

その他、法隆寺金堂は重層で軒が高いため 2.4/1.0 勾配とするが、単層の唐招提寺金堂は 1.5/1.0 勾配とかなり軒が深いといえることができる。

鎌倉時代の遺構では、大仏様の東大寺鐘楼は、やはり 2.1/1.0 勾配である。禅宗様仏殿の功山寺仏殿も 2.1/1.0 勾配であり、江戸時代の善光寺経蔵も正確に 2.0/1.0 勾配になっている。

その他、床を張っていても礎石上端を起点としていると推察されるものもある。室生寺御影堂や、圓教寺金剛堂は 2.0/1.0 勾配である。それらは、古代からの土間式の禪墨の作図の伝統が残っているのかもしれない。

##### (2) 床張り式の寺院建築

代表的な遺構は、西明寺本堂である。床上端の側柱真を起点に作図された禪墨は、1.4/1.0 勾配になる。これは春分の日や秋分の日の中正に、軒の茅負の影が禪墨の起点である床上端の側柱真に落ちるのである。中世の五間堂の仏堂においては、1.4/1.0 近辺の値が標準的な禪墨であると指摘出来る。

それ以外では、大仏様の浄土寺浄土堂の禪墨は、1.6/1.0 勾配であるから黄金比勾配になっている。浄土堂は断面も桁行（梁間も同寸）総間寸法と棟高の関係が黄金比になっていて、黄金比が意匠決定の主要な比率になっていることが指摘できる。

##### 神社本殿

今回は向拝の軒の禪墨で検討したが、禪墨の起点については今後とも検討が必要である。園城寺新羅善神堂では 2.0/1.0 勾配であり、それ以外も概ね 2.0/1.0 ～ 3.0/1.0 勾配の範囲に納まるようだ。

##### 拝 殿

遺構数も少なく平面・構造形式も多様で一概には言えないが、禪墨は急勾配で本殿より軒の出は短くなる傾向は見取れる。

##### 塔（三重塔・五重塔・多宝塔）

塔のように全体のプロポーシオンが重要な建築軒の決定に禪墨が極めて重要な役割をもっていると推察された。三重塔、五重塔では、初層のみ 1.4/1.0 前後の勾配とし、それ以上の層は少し緩い 1.1/1.0 前後の勾配とし、各層統一している遺構が多く確認できた。

##### 第3節 軒の決定

本研究は、軒の位置（茅負位置）の決定において、禪墨が用いられていることを考察したものである。筆者は、「軒比率」によって軒の出が定まり、高さが「禪墨」で定められると考え、実例を通して検証をおこなった（軒比率については仏堂のみ）。

今後、「軒比率」と「禪墨」の組合せによる軒の分析資料が多く集まれば、中世以前の社寺建築の軒の設計技法を解明でき、ひいては中世の社寺建築の全体の木割術を解明するのに資するのではないかと期待される。

##### 謝 辞

2 カ年度に渡って松井角記念財団研究助成をいただき、研究をまとめることが出来ました。日本建築技術史を研究する筆者には大変ありがたい助成です。深く感謝申しあげします。

「正倉院所蔵の紫檀塔部材および黒漆塗六角厨子部材の復元的考察」 研究実績要旨・概要書

大野敏\*<sup>1</sup>・春日井道彦\*<sup>2</sup>・箱崎和久\*<sup>3</sup>・飯田剛彦\*<sup>4</sup>

## 1. 本研究の目的と方法

正倉院宝物には、原形をとどめない残欠と呼ばれる部材片資料(以下部材と呼ぶ)が存在する。宮内庁正倉院事務所は、こうした部材についても丁寧に保管しながら、本来形式の把握について着実に調査研究を進めている。

こうした調査研究対象の中に紫檀塔残欠と呼ばれる一連の部材(以下紫檀塔部材と呼ぶ)と黒漆塗六角厨子部材がある。前者は建築史学の泰斗・浅野清博士により部材の整理と復原考察がなされたが、未解明の部分が少なくない。後者は正倉院事務所において復原考察がなされているが、全体像の復原考察には至っていない。

大野敏・春日井道彦・箱崎和久は正倉院事務所のご厚意により、2017 年 10 月に上記資料を実見する機会を得て、その実態を知ることができた。その経験をもとに、以下のような確認調査と復原検討の研究を企画した。

すなわち、紫檀塔部材は浅野清博士により海竜王寺五重小塔のような箱式構造の五重小塔の可能性が指摘され、組物の部分的な復原図が提示されている。ただし柱間寸法や塔全体の形状に関して復原図などの具体像は提示されていない。この点について、組物、垂木、隅木、茅負、高欄といった部材の再確認を行うことにより、①各部材の寸法比例から 5 層で確定しうるか、②組物復原は妥当か、③軒構造についての解明はどこまで可能か、④上記の検討の結果により、組物と軒回りを中心に断面図や立面図の作成がどこまで可能なのかを見極めたい。

また、黒漆塗六角厨子部材に関しては、2017 年に柱の上下判断の可否が議論された。したがって柱の上下の解釈に従って 2 種類の復原案があり得ることを前提として、再度全部材を詳細に観察することにより、あらためて復原考察を行ってみたい。

以上本研究は、遺例の少ない奈良時代の建築・工芸の意匠と技法を解明するうえで重要な基礎的研究であり、今までの知見を深めるという点で意義が高い。

なお、本研究における成果は、令和 4 年度の正倉院紀要に発表する方向で正倉院事務所と計画を進めている。したがって調査の最終実績は紀要で公開予定である。そのため、本稿は調査の概要を記すにとどめたい。

## 2. 黒漆塗六角厨子部材確認調査の概要

### 2-1 先行研究と今回の調査の目的

黒漆塗六角厨子部材に関しては、すでに三宅久雄氏「正倉院宝物漆金銀絵仏龕の復元的考察」(『正倉院紀要』20 号、1997 年 3 月、宮内庁正倉院事務所)により、考察が行われている。そこでは、黒漆塗六角厨子部材は、正倉院宝物の漆金銀絵をその扉として一体的に捉えるのが妥当との見解を示され、その軸組構造の復元構成図(作図は西川明彦氏)の提示をなされている。この論考は、宝物として保管されている扉と、部材片として保管されている厨子部材を結びつけて、一体としての重要性を示した点において価値が高い。ただし、復原考察は厨子軸組と扉とのおさまりを主眼としたもので、六角厨子全体の復原考察は課題として残されていた。

そこで、今回の確認調査では、現在の黒漆塗六角厨子部材の構成材のすべてを観察し直して、寸法・おさまり・痕跡などを構成部材調書として把握したうえで、厨子として全体像の復原が可能か検討する。

### 2-2 構成部材調書の概要

正倉院事務所では、黒漆塗六角厨子部材を 14 区分にまとめて保管している。基本的にその分類に基づいてすべての部材の確認と実測を行った。その一覧を表 1 に示す。実際には部材 1 つずつ構成部材調書を作成しており、表 1 はそれを概要版としたものである

その中で気づいたこととして、重要なものを一例あげると、

柱は一端が柄形式に細めて作られており、その先端部がどのようにおさまるかが重要であった。また、上台輪と呼ばれる見付に反転刳形を有する断面の大きな水平部材は、重量バランスの面で気になったので、本当に上端

材で良いのか再検討した。その結果上台輪は隅組手の上前角に蕨手隅木の仕口あるいはその修復痕跡を留めており、厨子の軒・屋根境の部材であることが確定した。これに伴い、桁・長押のおさまりが確認できたので、柱のほぞ仕口がある方は足元と判断され、先行研究における上下の見解が正しかったことを確認できた。

| 表1 黒漆塗り六角厨子構成部材概要表 |                |       |                        |                                                                                               |                                                                             |
|--------------------|----------------|-------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| 仮番号                | 分類仮称           | 員数(個) | 員数補記                   | 形状の特徴                                                                                         | 備考                                                                          |
| 1                  | 屋根板類           | 14    | 12個は屋根板。               | 左右の軒反りと前後の反りむくりがある。基本的に黒漆塗り。                                                                  | 長六角屋根板が主体。軒先の屋根板は軒板を兼用する。板下端の傍に蕨手隅木仕口あり。屋根板上面傍には隅棟の取痕跡あり。                   |
|                    |                |       | 2個は棟木                  | 上棟木は上面に鐫付。棟反りと隅増しを有し、中央に棟飾りを取り付けた痕跡あり(宝珠か)。基本的に黒漆塗り。                                          | 棟木2種類あり。屋根板上に載る上棟木と、蕨手隅木により支えられて屋根板下に配置する下棟木。前後側隅棟板を胴付した痕跡あり                |
| 2                  | 蕨手隅木           | 4     | 内3個は1つの隅木が欠損した可能性あり    | 断面は矩形の下面鐫、上面大面取りの変形五角形。復原すると2材の蕨手隅木となり、両者とも長い枘を造り出すので妻部材と判明(それ以外は下棟木に短い枘指し)見え掛かり黒漆塗り。蕨手先端は欠損。 | 上台輪の妻面の隅の落とし掛けに仕口していた蕨手隅木。その曲線により屋根板(軒板)曲率は大きかったことがわり、屋根板とも一致する。            |
| 3                  | 上台輪(仮称に倣う)     | 6     | 内2個新材                  | 前面に反転曲線の削形を施し上面が広くなる。上端の各隅に蕨手隅木の落ち掛かり仕口がある。見付と下面は黒漆塗り。                                        | 部材中で最も断面が大きい(最大幅84mm・高84mm)                                                 |
| 4                  | 桁              | 6     | 側面材1個新材                | 断面30mm形で外面見付上下に大面取り。隅留3枚枘。上面の上台あたりと下面の嵌板当たりを除いて黒漆塗り                                           | 3枚枘の隅留で組み、組手が柱頂部と仕口するらしいが柱で確認できない。上台輪と桁と羽目板を釘止。見付に飾り金具痕跡あり。                 |
| 5                  | 柱              | 3     | 当初枘残る材1個               | 変形五角形断面、一端は枘状に加工、一端は確認できるものなし。見え掛かり黒漆塗り。                                                      | 一端ほぞ、方立溝、方立止め釘。ただし上端は補修により内法長止釘は確認できない。上端の補修状況から破損時に大きな力が作用と推察(上台輪の大きさが関係か) |
| 6                  | 内法上羽目板         | 6     | 2個は割損材のため1つ分となる(長さも不足) | 上面は上台輪と桁を貫いて釘止めした痕跡あり。下面は内法長押下から釘止めした痕跡あり。                                                    | 桁～内法長押間を塞ぐ板。正面と背面には束状の単材痕跡あり。その形状は上が広い斗状で、柱位置にも同じような痕跡がある。柱頂部を推定する資料として注目   |
| 7                  | 内法長押           | 8     | 内法長押6個(1個新材)           | 端部は柱当たり欠きを施し、組手は隅大留。柱に釘止。下面両端方立溝(背面材は板溝)、背面材除きと当たり釘止。見え掛かり黒漆塗り。                               | 柱とのおさまり、扉内法幅、柱間寸法などを考察するうえで最重要部材。見付に飾り金具取付き痕跡あり。正面材は下面中央に定規物遣り返し穴アリ。        |
|                    |                |       | 2個は戸当たり                | 長押に釘止。見え掛かり黒漆塗り。                                                                              | 他に内法長押に釘止されたままの部材と、No.9に紛れていた材が1個あり                                         |
| 8                  | 方立らしい          | 5     |                        | 長い材2個は、部材ほぼ完存、傍釘止痕、上下枘、見付金具痕、見え掛かり黒漆塗り。他の3個は板材で金具痕あるが切り欠き多い。見え掛かり黒漆塗り。                        | 長い2材は方立。他の3材も方立かもしれないが明確でない。                                                |
| 9                  | 小脇板か方立らしい      | 4     |                        | 長い材2個は一端が古く他端は切断、傍割損らしい、見え掛かり漆塗りで板面に絵を描いた痕跡。細い材1個、短い割れ損板材1個、見え掛かり黒漆塗り。                        | 長い2材は扉の一部かもしれない。細い材1個は内法長押の戸当たりと判明(内法長押のグループへ)。短い割損材は手掛かりが少なく用途不明。          |
| 10                 | 定規縁ほかか         | 8     |                        | 長さ35cmほどの棒状材2個、長さ70cm前後の平たい棒状材5個、見付に黒漆塗り。                                                     | 長い材は2個が一端に先拡がりを施し枘を設ける。他の3材も端部にほぞを設け、両端を仕口していたらしいが具体的おさまり不明                 |
| 11                 | 高欄地覆平桁と地覆らしい部材 | 6     |                        | 平たい板のみであるが、各部材に束柱太枘穴とあたりがあり、隅組手に相欠き仕口があり。                                                     | 組ませると長六角形の前半部だけの高欄が想定される。大きさは厨子より小さく、床上に置いたものか。あるいは別のものか                    |

## 2-3 黒漆塗六角厨子の復元の可否

以上の知見により、黒漆塗六角厨子は柱以上の姿を概ね復元可能である。すなわち長六角形の蕨手隅木付の反りむくり板屋根(板軒)を有する優美な厨子で、屋根勾配は緩いのに対して蕨手と屋根板の軒先部の曲率が大きいことが注目される。大きさは異なるが、国宝当麻寺曼荼羅堂厨子と類似する厨子として貴重である。今回は黒漆塗部材表面に描かれた絵画(屋根板・軒板、方立などに認められた)については調査していないが、別途保管されている扉絵と共に、一体的に保存継承されるべき重要作品といえる。

## 3. 紫檀塔部材確認調査の概要

### 3-1 先行研究と今回の調査の目的

紫檀塔部材に関するこれまでの論考は、極めて少ない。『正倉院宝物』(1989年、正倉院事務所編集、朝日新聞社出版)、『正倉院宝物』(1996年、正倉院事務所編集、毎日新聞社出版)にも、ほとんど記載はない。古くは、『正倉院御物圖録』第13輯に紹介されており、これが最も古い解説である。

これまで紫檀塔部材について、最も深く研究されているのが浅野清博士の「正倉院紫檀塔残闕について」であ

る。この論文は、昭和28年4月に刊行された『美術史8』（美術史学会）に木村良雄氏との共著として発表された後、『奈良時代建築の研究』（昭和44年、中央公論美術出版）に再掲されている。

この論文は、序説・各説・結説の三説から成る。まず序説において、先に挙げた『正倉院御物圖説』掲載の解説から四つの疑問点・問題点を挙げ、その解決を試みたというものである。それらはすべて紫檀塔が「塔であること」を前提とし、それがこの残闕で成り立つかどうかという視点に立ったものである。

続く「各説」では、部材を八つに分類し、各論を述べられている。それぞれ(1)斗(2)肘木(3)垂木(4)木負・茅負(5)隅木(6)屋根瓦(7)高欄(8)雑材である。それぞれ個数や実測した寸法をあげ、部材によっては元興寺極楽坊五重小塔や海龍王寺五重小塔との比較も行っている。

最後に「結説」として先の各説10項目からのまとめを行い、それをもって復元的考察を①層数の問題 ②柱間の問題 ③斗拱の推定 ④軒の出の推定 ⑤塔の大きさの推定、として論じている。さらに「結語」として、九つの指摘を挙げ、論を閉じられている。

これらの中には、二手先の斗拱や高欄の復原図が含まれており、現在我々が古代建築、特に奈良時代の復原研究を行う際の重要な資料となっている。

今回の調査の目的は、浅野論文で掲載されている復原図が、復原の過程でどのパーツを使って作成されたかを検証し、改めて組物や高欄の形式を検討することである。また、部材の大きさから建物の規模を再検討し、多重の建造物であるかどうかとも検討した。

### 3-2 構成部材調書の作成

紫檀塔部材は、黒漆塗六角厨子よりもはるかに部材数も多く細かい部材が多いので、「乾」「坤」二つの収納箱（各8段の棚を有する）の中に、糸で仮止めして保管している。

その一つ一つの部材の寸法・形状・仕上げの特徴を確認して構成部材調書を作成して、部材の詳細確認を行った（主担当：春日井道彦）。その概要を表2に示す。

| 表2 紫檀塔残欠 構成部材概要表 |     |     |            |    |                                                                                 |
|------------------|-----|-----|------------|----|---------------------------------------------------------------------------------|
| 仮番号              | 箱分類 | 棚分類 | 部材名        | 員数 | 備考                                                                              |
| 1                | 乾   | 第1層 | 大斗・巻斗      | 46 | 平・隅・壁付の条件での形態差があり、位置が推定できる。                                                     |
| 2                | 乾   | 第2層 | 肘木・実肘木     | 19 | 三斗肘木(壁付・手先)、長さの異なる実肘木、丸桁仕口ある実肘木。「寄木」で作られた可能性のあるパーツの確認。                          |
| 3                | 乾   | 第3層 | 飛檐垂木       | 87 | 飛檐垂木、一部地垂木の混在を確認。                                                               |
| 4                | 乾   | 第4層 | 高欄部材       | 73 | 地覆・平桁・架木・横連子・斗束など大きさにより3種類は確認。                                                  |
| 5                | 乾   | 第5層 | 高欄部材       | 33 | 地覆に飾り金具痕あり。高欄架木と平桁に登り高欄材あり。                                                     |
| 6                | 乾   | 第6層 | 隅木・木負・茅負   | 17 | 切箔の使用位置で部材のおさまり推察可能。瓦座削りがある材（初層らしい）と瓦型を貼り付けた材（2層以上）があることを確認。木負・茅負の判別において新知見を得た。 |
| 7                | 乾   | 第7層 | 木負・茅負      | 19 | 従来は木負とされていたが、一部に茅負混入を確認。                                                        |
| 8                | 乾   | 第8層 | 木負・茅負、高欄部材 | 30 | 直材の木負・茅負。                                                                       |
| 9                | 坤   | 第1層 | 木瓦（丸瓦）     | 22 | 尻仕口で位置が判明。鳥袈瓦と思われる材を確認。                                                         |
| 10               | 坤   | 第2層 | 地垂木        | 24 | 配付の短い地垂木。                                                                       |
| 11               | 坤   | 第3層 | 地垂木        | 14 | 配付の長い地垂木。                                                                       |
| 12               | 坤   | 第4層 | 地垂木ほか      | 22 | 地垂木のほか、一部高欄材あり。                                                                 |
| 13               | 坤   | 第5層 | 地垂木        | 22 | 丸桁位置で折損材あり。                                                                     |
| 14               | 坤   | 第6層 | 地垂木        | 19 | 垂木尻の欠きとりと木釘痕に注目。                                                                |
| 15               | 坤   | 第7層 | その他        | 19 | 肘木断片・隅木断片、地覆か、垂木掛を確認したのは重要。                                                     |
| 16               | 坤   | 第8層 | その他        | 52 | 丸桁、軒丸瓦など雑の中に貴重な部材が含まれる。                                                         |

この作業の中で、既往研究とは異なる部材に対する知見も少なくなかった。

特に重要なことの中で一例を紹介すると、「紫檀の寄木」による部材が存在したことであった。先行研究において、張り付けによる部材が存在することは、茅負や木負で確認されていたが、紫檀の塊を拵え、それを加工して部材を作っていたことは、先行研究にはない知見である。

### 3-3 紫檀塔復原可能性

先行研究も指摘するように、小型層塔としては残存部材数が少なく、全体像を復原することは難しい。しかし今回の調査において、先行研究の知見が唯一の解釈ではないことは把握できた。

斗拱については、先行研究でも「出組」の可能性を考えているが、改めてその可能性を探り、検討を加えた結果、具体的な形式を考えるに至った。また、軒先のおさまりや箱状の軸組に組物や軒をどのように構成していくのかについても検討した。

## 4. 本研究の総括

本研究の端緒は、黒漆塗六角厨子の部材を再整理し分類することにより厨子の形態復原が可能か否かを確認すること、および紫檀塔部材の検討について浅野清博士の論考以外の考え方はありえないのか、という2点である。

結論から言えば、黒漆塗六角厨子は従来の軸組復原案が正しいことを確認し、課題であった屋根の形態についてほぼ復原可能であることが把握できた。ただし、柱を指し通していたと考えられる基台部分の材料が確認できず、厨子脚元(基台)のおさまりは類例を参照して推定しなければならないことも認識した。

紫檀塔に関しては綿密な部材全数確認(構成部材調書作成)により、今までの分類(部材組み合わせ)に対していくつか修正が必要なことを示すことが出来た。それにより残存資料の整理に関して精度を高めることが出来、組物形式と軒回りの考え方に新知見を示すことが可能となった。

以上の成果の全体像については、来年度(令和4年度)刊行の正倉院紀要において示す予定である。

※本文では「復原」「復元」の記載について、先行研究で「復元」と記述する場合は復元と記載し、それ以外の場合は復原と記述した。

謝辞： 本研究遂行にあたり、調査に協力していただいた下記の方々に深く謝意を表する。(順不同)

西川明彦氏・山片唯華子氏・佐々田悠氏・永田大輔氏・吉田卓爾氏(以上正倉院事務所)、チェン・スイ・イー、王之瑋、上野山耕平、庄司友貴(以上横浜国立大学大学院生)

\*1：横浜国立大学大学院都市イノベーション研究院教授、\*2：公財・文化財建造物保存技術協会参事、\*3：奈良文化財研究所都城発掘調査部長、\*4：正倉院事務所保存課長

# 石積み技能者の伝統技術に関する歴史考古学的・土木工学的研究

研究代表者：北野博司 共同研究者：西形達明、山中稔

## 1. はじめに

現在、全国各地の城跡で史跡公園や都市公園の整備に伴って石垣修理が行われている。石垣は築城後 400 年が経過し、劣化・損傷が進むとともに、近年の巨大地震や集中豪雨によって大規模崩壊も目立つようになってきた。前近代の伝統技術で造られた石垣を文化財として保存していくためには、構造体としての特質を歴史考古学、土木工学の両面から把握していく必要がある。実際の石垣修理の現場では、文化財としての真実性と安定性した構造体を維持していくために伝統技術を有する石積み技能者の果たす役割が大きい。

本研究では、文化財石垣の修理に携わる熟練技能者らへのインタビューから、技能の成立プロセスを踏まえたうえで、石垣の安定性に関する技術的因子を抽出し、それらに対して土木工学的な解釈を試みる。文化財石垣の修理技術は文化財保護法の「選定保存技術」になっており、その保存団体として「文化財石垣保存技術協議会」（2008 年設立）が認定されている。本研究は同協議会の会長および副会長ら、熟練技能者の協力を得て実施した。

## 2. 石積み技能者の形成プロセス

熟練技能者のライフヒストリーによれば、江戸時代に家業の伝統が遡れる A 氏以外は、いずれも昭和 30～40 年代に土木一般の石工事（河川の護岸、公園整備、棚田の土留め等）を経験してきた。戦後、荒れていた各地の城石垣が文化財として修理されるようになるのは、早くも昭和 29 年の大坂城跡、昭和 30 年代後半の鳥取城跡、昭和 40 年代からの津山城跡、熊本城跡、篠山城跡などである。これらは国指

定史跡であり、石垣修理は管理団体となる自治体が事業主体となり、文化財保護委員会（文化庁）の補助事業として実施された。

昭和 34・35 年の鳥取城跡や昭和 40・41 年の津山城跡の石垣修理では「二又」や「ロクロ」といった伝統的な道具が用いられ、クレーン等の大型機械は導入されていない。津山城跡の設計監理業務は一級建築士の資格を有する「文部技官」個人が担当し、施工に関する細かな仕様が定められていた。勾配の取り方、丁張りの設置、旧材の取り換え基準、再使用不能石材の取り扱い、根石の据え付け方法、解体石材の番付、解体前の実測図作成、裏込め・間詰石の再使用、栗石の清掃、裏込めの幅、裏土の滑り防止策など、文化財としての価値の保存と石垣の安定性のバランスを考慮した今日的に見ても古くはない仕様となっている。

その後、石垣修理は公共工事として設計・監理をいわゆる文化財コンサルタントに委託するようになり、今日に至る文化財石垣修理工事の枠組みが形成されていった。昭和 40 年代から増えていく史跡の石垣修理に携わったのは、基本的には地元の石工たちだった。鳥取城跡の K 氏や、やや時期は遅れるが、佐賀県肥前名護屋城跡の M 氏がその代表格と言える。大津市坂本で自然石積みの技術を継承してきた A 氏も昭和 35 年から 50 年にかけて行われた安土城跡等がホームグラウンドとなっていた。1 つの城跡の石垣を長く修理することで文化財修理のノウハウを身に付けていったといつてよい。

文化財石垣の修理は歴史の証拠と構造体としての安定性を伝えることである。その理念や方法が当初から定まっていたわけではなかった。昭和 30 年代

からの史跡の石垣修理において、文化財保護の理念と工法等を指導した文化庁担当官らと、在来の石積み工事に長けた石工らの工夫により徐々に築き上げられていったものである。このころに史跡で修理を重ねた技能者らが後に指導的役割を果たしていく。

「一人親方」として石垣修理の技能を磨く石工とともに、石工事に巧みな技能者らを複数抱える企業が登場する。昭和 29 年から大坂城跡の石垣修理に入った大阪の中村石材工業、東京では小林石材工業は、文化庁担当官の推薦もあってか、やがて全国の石垣修理工事に職人を派遣するようになった。

現在、熟練技能者（文化財石垣保存技術協議会という「上級技能者」として認知される石工のルーツは、A 氏を除いて、いわゆる「間知石」の加工や石積み工事一般を生業とした石工の系譜にある。しかし、彼らは文化財石垣の修理を重ねる中で、近世に築かれた石垣の技術と文化財保存の理念に学びつつ、自らの経験をもとに石垣構造の安定性に対して工夫を重ねながら現在の地位を獲得してきたといえる。

### 3. 安定性に及ぼす技術的因子の土木工学的評価

城郭石垣は土木的観点からみると、積み石、栗石、土層（盛土あるいは地山）の 3 つの材料からなる斜面構造物である（図-1）。このように複数の材料によって構成され、かつ個々の材料がもつ長所を活かすことでより大きな強度と経済性を付与した構造物のことを複合構造物と呼んでいる。単純に城郭石垣を上記のような複合構造物とみなせば、その安定性は現代の解析手法によって定性的ではあっても予測可能である。

ところが、城郭石垣を構築する際には、石積み技能者らがもつ数々の伝統技能がいたるところで駆使されており、近代の土木技術では計り知れない石垣の安定性向上要因が内在しているもの考えられる。このような伝統技能に関する理解なしでは、高さが 30m にも及ぶ城郭石垣が崩壊することなく何百年も存続してきたことの理由を説明することは難しい。

ここでは、石積み技能者のインタビューから抽出

した因子のうち、築石、間詰石、介石、栗石の 4 点について工学的な面からの解釈を試みる。

#### （1）築石

今回のインタビューでは築石そのものに関してあまり多くの話を聞けなかったが、一部で逆石（何らかの事情で前傾して積まれたか、あるいは変形によって前傾した築石）の話題がでた。『逆石は避けるべき』というのが共通意見であったが、技能者によって逆石の定義に相違があるように思えた。一般に築石は石垣表面に対して直角に積むことが多いが、こ

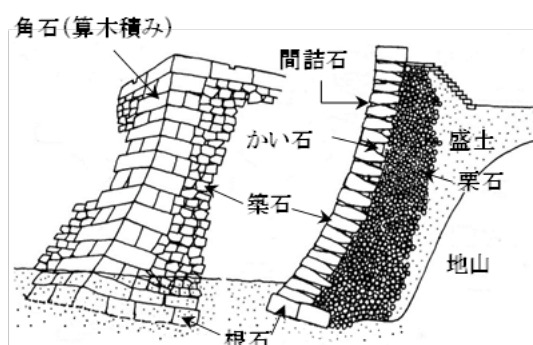


図-1 城郭石垣の構造と各部の名称<sup>2)</sup>



写真-1 逆石の摩擦抵抗試験<sup>2)</sup>

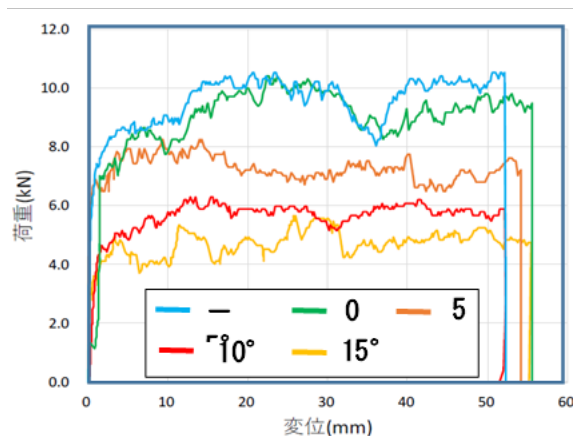


図-2 築石の各傾斜角度における押し出し荷重（摩擦抵抗）と変位の関係<sup>2)</sup>

れより小さい角度に設置された築石（水平設置を含めて）は「逆石」とであるとの意見もあった。

そこで、築石の傾斜角度（設置面角度）を変えて築石の摩擦抵抗試験(写真-1)を実施した結果から、築石の傾斜角と摩擦抵抗について考察する。図-2は築石の各設置角度における押し出し荷重と変位の関係を示したものである。図中の  $-5^{\circ}$  は築石が  $5^{\circ}$  前傾している場合である。図から、築石の傾斜角が小さくなるとともに押し出し荷重（摩擦抵抗）が大きくなり低下することがわかる。傾斜角が  $0^{\circ}$  と  $-5^{\circ}$  の場合は摩擦抵抗の低下が顕著で、 $10^{\circ}$  や  $15^{\circ}$  の場合の半分近くになっている。ただ、『このような逆石が見つかったとしても、石を交換するべきではなく、元の石を用いてその軀に滑り出し防止のための石を配置する（あるいは取り付ける）などの対策を考えるべき。』というのが大半の意見であった。なお、この実験から得られた築石間の摩擦角は傾斜角や上載荷重の大きさにかわらず約  $40^{\circ}$  で一定であった。

## (2) 間詰石

技能者とのインタビューでは、間詰石については以下のような意見があった。

- ① 間詰石は全面に詰めて築石の安定化を図る。  
ただし、野面積みの場合には多少空きがあった方がよい。
- ② 間詰石は詰め過ぎないようにし余裕を残す。  
地震時には割れても抜けてもよい。
- ③ 地震時に変形が生じた場合に築石が元の状態に戻ることを阻害しないように適切な場所に詰めるべき。

工学的な立場から間詰石の機能を考えると、図-3に示すように、「間詰石の挿入によって築石間の接触力（図の赤矢印）が増加する。接触力が増加すると築石間の摩擦抵抗（図の青矢印）が増加し築石の変形が拘束される。現実には水平方向にも同様の効果が発生するため、石垣は3次元構造化して剛性（変形に対する抵抗）が向上する。」ということになる。

インタビューにおける①の意見は、上記の工学的



写真-2 間詰石を全面に詰めた例

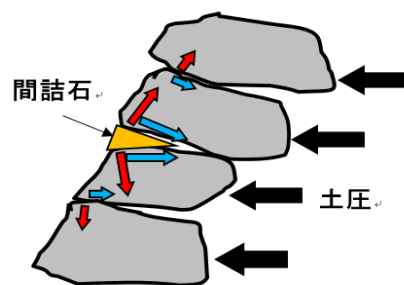


図-2 間詰石の傾斜と機能

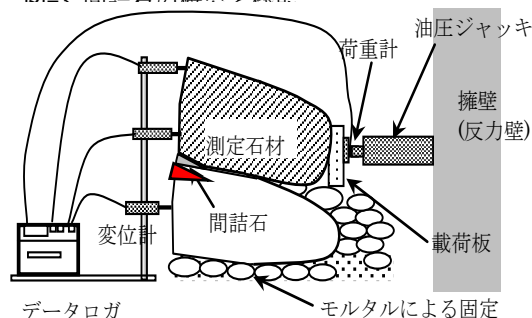


図-4 間詰石の効果を調べる実験

な説明と同意であろうと思われるが、②の意見は積み石の剛性を高くすることが石垣構造全体の安定性を増加させ得るかどうか疑問があるということであろう。石垣構造が柔構造物である長所を残すべきという考え方に基づいている。とくに、①の意見の中で『野面積みについては全面に詰めることを良しとしない。』という意見は、野面積みの柔構造としての特徴との関連性を示唆しており興味深い。

次に、③の意見は『間詰石は築石の摩擦抵抗を増加させる効果をもつ反面、適切な位置に挿入しないと弊害を生むこともある。』という重要な意味を有しているように思われる。そこで、図-1の摩擦実験と同様の実験によって間詰石の効果を調べた結果を基に考察を行う。実験は図-4に示すような装置を用い、

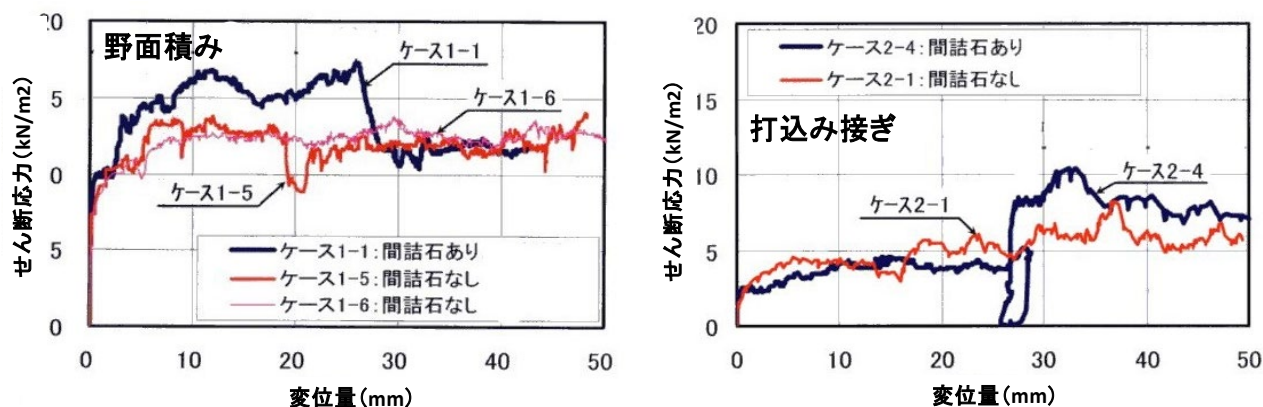


図-5 間詰石の有無による摩擦抵抗の変化

野面積みと打ち込み接ぎの2つのケースについてそれぞれ間詰石がある場合とない場合について行なわれた。その結果を図-5に示すが、両ケース共にある変位量のときに押し出し荷重（図では、せん断応力（=押し出し荷重／築石間の接触面積）で表示。）が不連続な増減を示している。とくに、打ち込み接ぎの場合には押し出し荷重が急激な減少と増加を示すと同時に変位が元に戻っている箇所がみられる。このような工学的に説明のつかない現象は、③の意見が示唆している『築石が元に戻る状況あるいは戻れない状況』が発生していたことを示しているように思われる。さらに、このような不連続な状況が発生したときに間詰石の抜け落ちや破壊が生じるものと考えられる。では、③の意見の「適切な場所とはどのような箇所であろうか」という疑問が残るが、これは現在のところ明らかではない。最近写真-2のように石垣面のすべての隙間に間詰された石垣を見かけることが多いが、これは、適切な間詰の挿入位置を探る技能が失われつつあるからかもしれない。

### (3) 介石

介石に対する技能者の意見は以下のものであった。

- ① 築石の後部には大き目の栗石（臙介石）をしっかり設置する。これは石垣の安定上、重要な役割を担っている。
- ② 臙介石と間詰石は協力し合って築石を安定化させる。
- ③ 臙介石には長手の石を差し込んで、その1/3程を築石の後ろに出しておく。

- ④ 臙介石は基本的に3個で受ける。

石積み技能者のほぼ全員が①の考え方を示しており、臙介石の重要性を強調している。一方で、介石（とくに臙介石）の重要性は理解できる反面、その設置状況は外部から観察することが困難で、具体的な設置方法や機能については最も理解しにくいところ

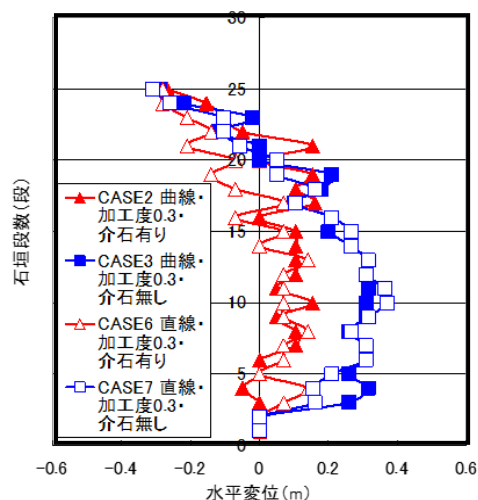


図-6 臙介石の有無による石垣のはらみ出し量の比較

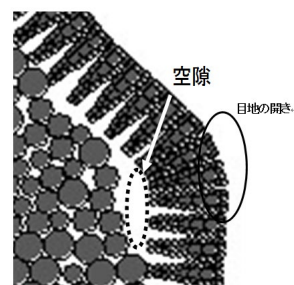


図-7 当初の臙介石がない場合の変形パターン

ろでもある。

図-6 はモデル実験によって介石の効果調べた結果である。石垣モデルに地震荷重を作用させて変形を生じさせた。図の横軸にはらみ出し量（水平変位）をとり、縦軸は石垣の高さ（段数）をとっている。石垣モデルに使用した介石は、鱧介石を模して実験モデルの築石の後部に詰め物をしただけの簡易なものであったが、図から鱧介石によるはらみ出し変形の抑制効果が明らかに見て取れる。

さらに、鱧介石が無いあるいは不十分な場合の変形パターンを実験当時は図-7 のように考察し、はらみ出し変形の発生に伴って築石後部には空隙が発生し、より不安定化しやすくなると安易に考えていた。ところが、意見③によって上記のような不安定化を生じさせない技能があることを知らされた。すなわち、③の『鱧介石の後部 1/3 を築石の後ろに出しておく』ことによって築石と後部の栗石を連結させることで、容易に築石後部に空隙を生じさせることなく、はらみ出し変形をより確実に抑制することが可能になるものと考えられる。さらに、この技能には見かけ上の築石の控え長さを長くするような効果も存在する可能性がある。

最後に、数は多くなかったが④の意見に興味もたれた。④の意味するところは、『胴介石は最小限の石でおさめるべきである。』ということであろう。最近写真-3 に示すように、築石間の全面に胴介石を挿入している例を多く見かける。この2つの方法のどちらが有効かについては即断できないが、写真-3 のような状態はかえって築石間の摩擦抵抗を減じてしまう危険性を感じる。

#### (4) 栗石

栗石に関して以下のような意見があった。

- ① 角礫の方が詰まりやすい。
- ② 円礫間の接点は必然的に最適な位置になるが、角礫は余分な点で接するので礫の破壊につながる。
- ③ 目つぶし材はすぐに下に落ちてしまうので効果が低い。

- ④ 栗石層への泥（土砂）の混入は避けるべきである。

図-8<sup>3)</sup> は角礫と円礫について、締固め度と内部摩擦角（摩擦抵抗）の関係を示したものである。これより、締め固める（栗石を丁寧に詰めて積む）と、角礫の摩擦抵抗が増加しやす



写真-3 全面に設置された介石

いことがわかる。一方、円礫は締め固めの影響を受けにくい。この結果を合わせて考察すると、①の意見は「丁寧な施工をすれば」という前提が必要である。自然に投入すれば円礫の方が密度が高くなることが知られているが、この点については、意見②が礫どうしの接点を例に挙げて適切に説明している。「丁寧に詰めて積めば（締め固め度が大きくなれば）」角礫の方が密度が増加し、摩擦抵抗も格段と大きくなることは図からも明らかである。インタビューでは、ほ

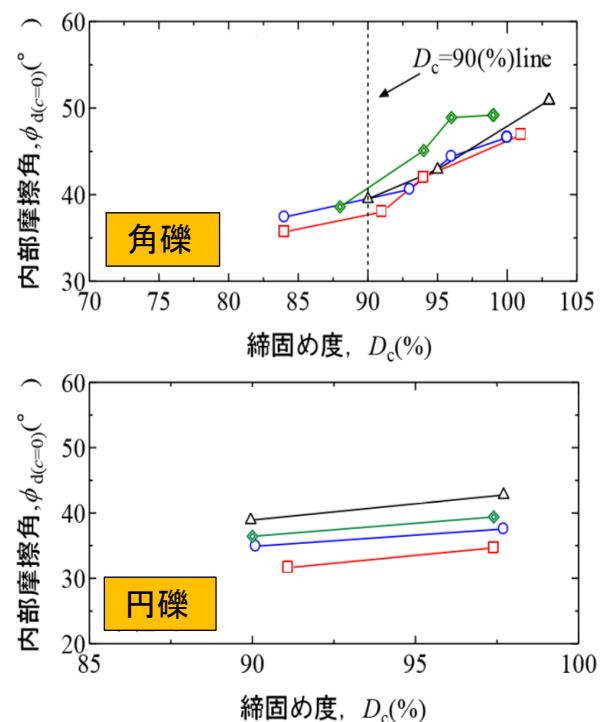


図-8 角礫と円礫の締固め度と摩擦抵抗<sup>3)</sup>



写真-4 土砂が混入した栗石層

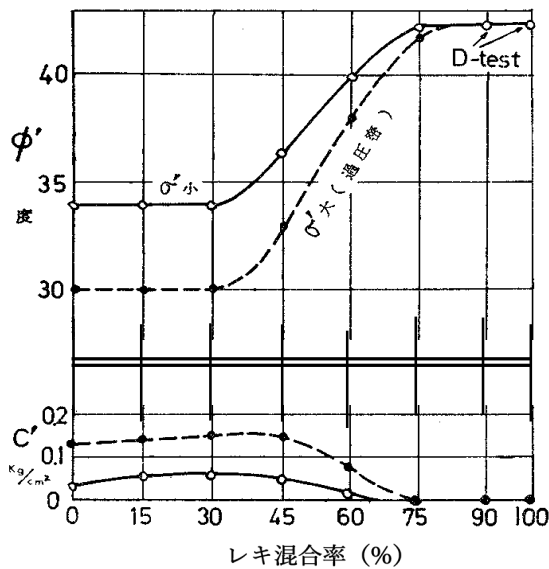


図-9 礫混合率による摩擦角(φ)と粘着力(c')の変化<sup>4)</sup>

ほとすべての技能者が栗石層の確実な施工が石垣の安定性ために重要であることを指摘している。その中である年配の技能者が『積み石は石垣の皮膚であり、栗石は石垣の骨であり筋肉である』と述べている。我々が熊本城の被災状況を見て栗石層の重要性を確信するかなり以前に、これだけの確信をもった言葉で栗石層を評価していることは驚きである。

意見③にある目つぶし材は、栗石を安定化させることを目的として、栗石の間に詰める小粒径の材料のことである。したがって、目つぶし材が使用された栗石層全体としての粒径分布は不連続にならざるを得ない。このような材料を不連続粒度材料と呼ぶが、一般に締固めは困難である。また、降雨水や振動によって分離しやすい(意見③では「落ちる」と表現している)。以上のことを考えると意見③にあるように、目つぶし材の効果的な使用は難しいので

はないかと考えられる。

最後に④の意見は栗石層への土砂の混入による目詰まり(写真-4)の問題である。この問題の重要性を指摘した技能者は1人であったが、工学的に重要な問題であるので触れておく。図-9<sup>4)</sup>は礫と粘性土の混合(図では礫混合率で表されている。本文で問題としている粘性土の礫層への混入率は、(100-礫混合率)%となることに注意、)による礫の摩擦角(φ)と粘着力(c')の変化を調べたものである。図から粘性土混合率が25%以上(礫混合率が75%以下)になると、本来の礫がもつ粒状材としての性質が失われて粘性土の性質に変わっていく様子(φが低下してc'が生まれ始める。)がわかる。すなわち、石垣の安定性保持のために本来礫が保持していなければならない強度特性が変化していくことを示している。

土砂が栗石層に混入すると、以下のような原因で石垣の不安定化を引き起こすことになる。

- ・上で述べた栗石層の強度低下。
- ・栗石層の不透水性による背後の水圧の増加。
- ・栗石層内に水分が貯留されやすくなることによる栗石層自身の重量増加。

それぞれの要因は単独でも斜面を十分崩壊に至らせるだけの力を秘めていることから、栗石層への土砂の混入は、④の意見の通り避けなければならない。

#### 参考文献)

- 1) 渡辺 武：図解再見大阪城、大阪都市協会、1983、(一部加筆)
- 2) 澤田純之、西形達明、笠 博義、西村 毅、和田行雄：文化財石垣における逆石の滑動安定性に関する実験的検討、土木学会年次学術講演会、2010
- 3) 上本雄也、澁谷 啓、橋元洋典、川尻峻三：砂礫盛土材の締固め特性および変形・強度特性に及ぼす粒度特性の影響、地盤工学ジャーナル、Vol.16、No.2、pp.181-190、2011
- 4) 川上 浩、阿部広史：飽和れき混り粘土のせん断特性、土木学会論文集、No.163、pp.55-62、1970

# 研究概要

## 厳島神社に見る海上立地の計画的・技術的・構法的な対応に関する研究

### - 海上社殿の廻廊に関する調査研究 -

畔 柳 昭 雄（日本大学）

#### 1. はじめに

厳島神社は、瀬戸内海の西端の安芸灘に点在する島嶼群の中に位置する厳島の北西側にある小さな入江の奥の海の上に建立されている。今日、世界に類を見ない海の上に祀られた社殿は、創建時から 1400 年余りを過ぎており、大造営からは 850 年程を経過した木造建築である。

1996 年（平成 8 年）にメキシコで開かれた第 20 回ユネスコ世界遺産委員会において世界文化遺産に登録された。厳島神社の本社本殿・幣殿・拝殿など 17 棟と大鳥居及び陸域の五重塔・多宝塔 3 基からなる建造物群は 6 棟が国宝に指定され、11 棟・3 基が重要文化財に指定されている。

厳島神社の建築的研究に関しては、古くから行われているが、建築史的に見た時代考証や建築様式、建築意匠から見た社殿の空間構成、建築材料、幾多の災害やその都度なされた復元工事などが注視され報告されてきた。近年になり、背後の 2 つの河川やその流路の取りつき方、境内としての有浦湾や御笠浜の海浜のあり様、大鳥居の構造等について報告されている。ただ、概ね平清盛の大造営以降の事項に関する考究が多い。このことは神社創建後の文献資料に限りがあり限定的なためでもある。

一方、海に立地することに関する究明は、社殿を構成する廻廊に見られる波や潮位への対応策に対する考察が若干なされているが、海の上に立つことについては十分な解明はなされていない。近年、造船工学から本社本殿の床板の張り方について考究された報告がある<sup>6)</sup>。

厳島神社は寝殿造の影響を色濃く受けており、空間構成を見てゆくと、有浦湾の御笠浜に海側（北）を向いて建てられた母屋にあたる本社本殿が置かれ、その前面に拝殿と祓殿が並列に配され、これらは一棟形式で構成されていることが分かる。この本社本殿を囲み込むようにして廻廊は張り巡らされ、それに付随して祓殿の前には高舞台が設置されている。また、この高舞台を囲み込むようにして廻廊と同一の床高で平舞台が設けられている。この平舞台の左右には門客神社と楽房が配され、真中から釣殿に対置するような火焼先と呼ばれる先端部分が海に突き出し、その前方 200m に大鳥居が設置されている。

本社本殿を囲み込むようにして配されている廻廊は有浦湾の東西の陸域を結び、東側が僅かに長く、東端の陸域に接続する東廻廊は折れ曲がり 3 回で祓殿につな

り、西廻廊は祓殿から折れ曲がり 4 回で陸域につながっている。延長距離は 275 メートルある。

廻廊は本殿を守るための防波堤の役割を担っているとされてきているが、ここではこうした従来までの見方を尊重しながら、廻廊とその配置のあり方を再考する。

厳島神社の廻廊は神社の参道に求められる連続性を持つ空間構成を見せているが、それ以外にも役割があり、波浪や高潮を回避するための役割を担っているとされる。

社殿の建立においては、台風や高潮などの波浪による影響や被害を受けても、最終的には神社で最も重要な主祭神が祀られている本社本殿を守り抜くことができればよいことになる。そのためには本殿の前に波浪を抑えるための幾重にも重なるような障壁（多重防災）を設けることが要される。その障壁としての役割を、祓殿、廻廊を配することで担わせた。特に廻廊については、その配し方を工夫することで本社本殿を囲み込むように配しているものと思われる。

廻廊の床面は簀子状に床板が張られ、本殿前の高舞台と平舞台もそれぞれ簀子状に張られているが廻廊と比べて隙間は狭く、外海から来襲する波浪の波頭をここで抑え、本殿がその影響を被らないようにし、波浪が強い場合は舞台の床面が浮かび上がることで、波浪の力を建物に伝搬させない仕組みが工夫されている<sup>9)</sup>。

ただし、これまで清盛が廻廊に施したとされる簀子板については、波力緩和や浮力緩和に対する卓越した考え方のように思われがちであるが、寝殿造では元来寝殿の縁には簀子縁が配されていたために、波力や浮力緩和が意図されて用いられたものかは不明である。

#### 2. 研究の目的

本研究では、厳島神社に見る海上立地のための計画的、技術的、構法的な対応策に関して考察することとする。

厳島神社に関する資料は、2 度の火災で社殿が焼失しているため、極限られた資料となるが、先行研究を収集整理することで、社殿が海に建てられた経緯と立地場所、清盛の大造営の意図、大造営の際の海の影響に対する建築的な対応策（潮汐作用、高潮等）について検討する。

研究手順は、①厳島神社の創建に見る海上立地に関する考究を行い、次いで、②社殿を構成する廻廊について、波力や浮力緩和を意図し簀子板を施したのか社殿横断面

図を基に、流体力学的観点から断面的に考究を行う。

### 3. 厳島神社の海上への建立経緯

厳島神社は、社伝によれば推古天皇即位元年（593 年：飛鳥時代）に社殿造営の神託を受けた当地の豪族佐伯鞍職により創建されたのがはじまりとされる。創建当時の神社は、厳島神社の北西側の海岸に位置する有浦湾内の御笠浜に祠が海に向かって建立された。有浦湾は今日の地形とは様相を異にし、湾内には背後の山から流れる御霊川（現紅葉谷川）と瀧川（現白糸川）の 2 河川の河口部が湾奥の海岸線の東西に流れ込み、湾正面からは波が寄せる環境条件にあり、湾内には双方からの土砂堆積により中洲が形成され御笠浜がつくり出されていた。

宮島町史資料編地誌紀行 I（1992.3）には、佐伯景弘が 1168 年（仁安 3 年）に厳島神社の造営完成を記した「伊都岐島社神主佐伯景弘解」が記録されているが、これによると、創建当時、神社は島が禁足地という場所柄や神格化された島の風習などに配慮することで、島の中には建立せずに御笠浜に祠が建立された。ただ、御笠浜の前浜は満潮時には海面下に没するため、祠は波の影響を直接被る環境圧の高い場所に建立されていたものと思われる。

一方、この入江や浜については、神社建立のために人為的に造成されてきたとする説がある。それは前述したように島の神格化や風習などからもたらされた島のあり様や捉え方が誇張されることによる逸話とも捉えられる。これは、御笠浜の地下には岩場が広がり、その岩場の上に覆砂することで創出された海浜とされる説であるが、この場所は、元来は 2 河川が流れ込む河口部のため、河川からと海から運ばれる土砂が堆積することにより、中洲が形成されてきたと考えられる。この中洲の浜の上に創建時の祠が建立されたものと推測できる。

#### 3-1. 神社の本社本殿の位置

厳島は、島そのものが御神体として崇められ、禁足地としても扱われてきていたため、島内に祠を建立することが避けられ、厳島神社を内宮（本宮）とすることで、島の外側に遥拝の場所を設けることが必須条件となった。そのため、外宮を対岸側に設け地御前神社と命名された。また、平清盛は、大造営を行った際、神社背後の弥山に奥宮としての御山神社を創建した。これら 3 つの神社は、「北辰信仰（北極星または北斗七星を信仰）」に則することで、真北に向かい一直線上に奥宮、内宮、外宮が揃うように立地している。このことにより平家一門の守護神としての品格をもつ新たな神社の姿かたちを生み出した。

#### 3-2. 清盛の大造営

歴史上、平清盛が 1168 年に厳島神社の大造営を果たしたとされているが、大造営はいつ頃始まったのか、また、なぜ大造営が行われたのかについては必ずしも考究されていない。これについては「伊都岐島社神主佐伯景弘解」

に神社の完成年月日が 1168 年と列記されていたことによるもので、1164 年（長寛 2 年）には既に完成していたと推測される<sup>7)</sup>。このことから大造営は、清盛が 1160 年に発参詣した頃から着手されたものと考えられることができる。

初代神主の佐伯鞍職により創建され有浦湾奥の汀線付近に建立されてきた社殿を大造営する上では、①厳島神社の社格を高める建築様式に変更する。②背後の山から湾内に流れ込む 2 つの河川の河口部の影響を緩和する。③有浦湾の中で海からの波浪や高潮の影響を逃れる場所に社殿を再配置する。ことに取り組まれたと考えられる。

#### 3-3. 海に浮かぶように見せる工夫

大造営では御笠浜の前浜あたりに建立されていた祠を現在の不明門の前辺りに移設することで背後からの河川の影響や前面からの波の影響も緩和したと考えられる。また、土台の基礎部分は石積基壇や埋立てでは底面部分が大きくなり、河川からの水や土砂が滞留し堆積物が溜まり易くなるため、満潮時に海底になる社殿の基礎は、海底が低い場所に限りわずかな高さの基壇を設け、それ以外は廻廊を含めて束立て工法とし、祓殿より前面の平舞台などは石柱を採り入れ、水の流れを容易にした。

また、社殿の床高は潮が満ちたとき「厳島神社はまるで海に浮かんでいる」ことが意図されたが、床面は低すぎれば台風の高潮や大潮のとき床は水没するし、逆に海水に浸からない高さにすると、海面と床の間に大きな間隙ができ、海に浮かぶようには見えない。

このことは厳島神社が 1989 年から 2006 年まで観測してきた潮位変化を図-1 に示す。これを見ると廻廊の浸水は、21 世紀に入ってから著しくなった地球温暖化による気候変動の影響を受けるまではほとんど起きていないことがわかる。こうした海水面の水位変動を考慮した上で、美しく見える社殿としての最適な床高が決められた。通常目にする水面の高さは最高潮位時において、社殿の床下 15 cm の水位高となるように廻廊の床高は決められていた。この水面の高さを確定することにより“社殿が海面に浮かんで見える”ことを可能にしている。この高さは 9 月の大潮のときには、水面は床面と同じ程度の高さに上昇する。また、祓殿と拝殿の床は廻廊の床面よりもわずかに長押一本分だけ嵩上げされているが、本殿の床はさらに二本分程の嵩上げが施されていることも確認された。こうすることで廻廊の床面下の大引きと根太の高さまで水面が上がるようにし、海の上に浮かぶように見せた。

加えて、台風時の高潮や波浪への対応は、廻廊の床面を簀子状に張ることで海水が溢れることを許容する一方、波浪を抑える消波効果を果たし、建物に働く浮力や波力を軽減する減勢効果を持たせていたとされる。

厳島神社では元々海側からの参拝や遥拝を意図して建立されているため、潮の満ち引きに関係なく容易に社殿を参拝できるように陸域から廻廊を渡すことで問題の解

決を図り、且つ社殿としての空間的装いの演出も合わせて考慮することにより、寝殿造が取り入れられてきた。

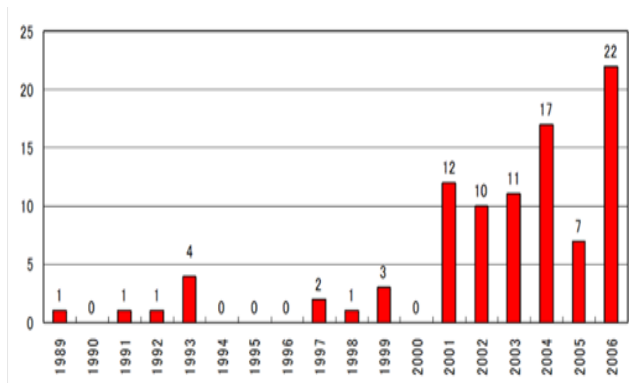


図1 厳島神社廻廊の年間冠水回数  
(中国厳島神社日誌より地方整備局作成)

丁度この大造営が行われた時期よりも若干早く 1160 年頃、貴族の邸宅として都（京都）では寝殿造と称される建築が姿を見せはじめ、清盛はこの都での建築的意匠の流れを取り入れたと思われる。寝殿造の基本構成は敷地の北側に寄せて建物を配し、南側に池が配され建物と庭園が一体化された空間をつくりだし、建物は寝殿（母屋）と庇からなり、対屋が置かれ、これら諸室は渡殿や透渡殿と呼ばれる廻廊でつながれた。

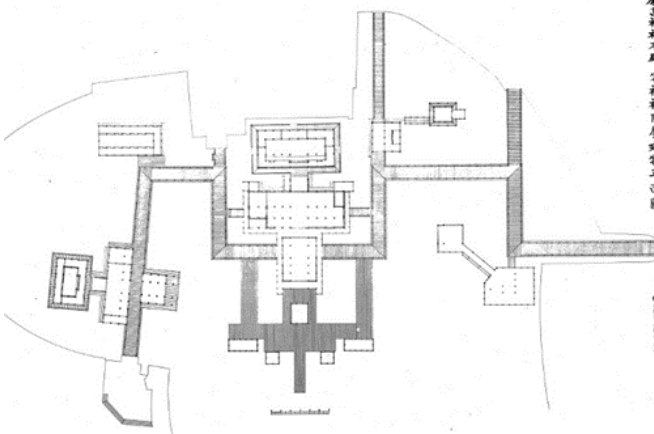


図1 厳島神社本殿及び客神社附属建物平面図

#### 4. 厳島神社廻廊の流体力学的特性に関する考察

図1に厳島神社本殿及び客神社附属建物平面図を示す。約 277m 程度の廻廊が本殿を取り囲むように配されている。図2に厳島神社廻廊横断面図を示す。現地での計測結果から、簀子板は、梁間で長さ約 4000mm、幅 260~300mm、厚さは 70mm 程度であった。各簀子板は 20mm 程度の間隔をあけ設置されている。

宮島は瀬戸内海の静穏な海域に位置し、南側には屋代島があり、そのさらに南側には佐田岬半島が遮るように位

置している。また、有浦湾の御笠浜は宮島の北側に位置することから、台風時に北向きの外洋からの発達した波浪

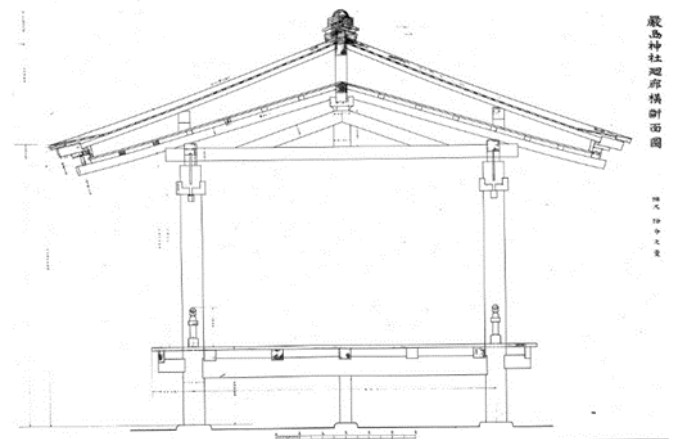


図2 厳島神社廻廊横断面図

が入射することなく、厳島神社沖合は静穏な海域特性を有する。台風時においても、屋代島から宮島までの海域約 30km 程度の区間でしか発達できない高波は、外洋から伝播する高波と比べ周期が短く緩傾斜の海底地形も相まって波高も小さい。しかし、台風による高潮は発生し、その海面変動は高波と比較し周期が長く、廻廊の冠水被害は頻繁に発生している。ここではまず、高潮のみを想定し、静水力学的観点から簀子板が浮力緩和にどの程度寄与しているかを考察する。現地での計測結果から、簀子板長さ 4000mm、幅 300mm、厚さ 70mm とし、簀子間隔が 20mm だと仮定すると、簀子がない場合に比べ 6.25%の浮力緩和となる。柱間約 2400mm、直径 280mm の廻廊柱に対して、浮力緩和分がどれほどの浸水深に相当するかを試算すると、約 340mm であった。ただし、この相当浸水深はあくまで簀子がある場合の浮力緩和分と鉛直方向の柱に対する浮力増分が同じと仮定した場合の値であり、廻廊自体の構造物質量を考慮したものではなく、廻廊自体の浮上の有無に直接関係する値ではない。

次に、簀子板が波力緩和にどの程度寄与しているかを考察する。図1の廻廊の配置、および図2の横断面図から簀子板を消波構造物としての没水平板とみなし、試算を進めることとする。なお、以降の試算には高木 2)による実験結果を用いる。簀子板が没水した場合を想定し、前述した地形的特性から波周期を 3s~4s と仮定し波の透過率を求める。分散関係を考慮すると、水深 1.1m 波周期 3s の場合の波長は約 9m、波周期 4s の場合の波長は約 12.5m である。簀子板を梁間 4m と考え、波周期 3s の場合  $\lambda/L=2.25$ 、透過率は 0.4~0.8 程度であり、波周期 4s の場合、 $\lambda/L=3.125$ 、透過率は 0.2~0.7 程度である。没水深度が浅いほど透過率は小さくなる傾向にあり、没水深度が 0 の場合に最も透過率が小さい。本試算には、簀子の影響を考慮していないが、考慮した場合には鉛直方向へ

の水粒子運動の制限が小さくなり、透過率は大きくなる  
ことが予想される。なお、没水平板は、入射波が通過す  
る際に激しい砕波現象が発生し、波エネルギーを消散さ  
せる。この現象が確認されたのち、国内で消波構造物と  
して利用が考えられたのは1980年代頃のことである。

## 6. おわりに

従来まで報告されてきた厳島神社研究の成果を踏まえ  
つつ、これまで考究されることのなかった厳島神社の創  
建から大造営に至る社殿の海上立地(建立)における計画  
的・技術的・構法的な対応について、本研究では流体力学  
的な視点をを用いることで新たな考察を行うことができた。

## 参考文献

- 1)三浦正幸:平清盛と宮島 瀬戸内海文庫Ⅱ,南々社,2011.12
- 2)川本博元:日本的空間における軸線に関する研究-厳島神社に関する  
考察その1-,日本建築学会大会学術講演梗概集 1972.10
- 4)伊澤岬:海洋空間のデザインウォーターフロントからオーシャンズ  
ペースへ,彰国社,1990.5
- 6)高木幹雄:厳島神社における波浪制御の技,日本建築学会広島大会,研  
究協議会,厳島神社にみる海洋建築の技と匠 2008.9
- 7)山口佳巳:仁治度厳島神社の社殿,広島大学総合博物館研究報  
告,2009.12

## 南砺市に現存する伝統木造合掌建物の耐震性能評価に関する研究

後藤 正美（金沢工業大学 教授）

西村 督（金沢工業大学 教授）

### 1. はじめに

本研究では富山県南砺市にある合掌造り村上家住宅を対象とする。村上家住宅は重要文化財の建築物でもあり多くの観光客が訪れている。地震が起きた際にも倒壊しないだけの耐震性能が求められる。合掌造りの耐震性能に関する研究では、白川郷の合掌造りを対象にした実験的研究<sup>1)</sup>、解析的研究<sup>2)</sup>が報告されている。しかし、南砺市の合掌造りの耐震性能評価に関する研究は報告されていない。対象建物の耐震性能を適切に評価するためには構造要素の特性を明確にする必要がある。

村上家住宅の特徴的な構造要素は、合掌部分のはねがいと居室部分の板壁が考えられる。本研究では、これら構造要素の静的加力実験を実施し、復元力特性を明らかにする。更に構造要素の復元力特性をモデル化し、Wallstat と限界耐力計算を用いて合掌造りの耐震性能を評価する。

### 2. 建物概要

村上家住宅は富山県南砺市上梨に位置し約 350 年前の建物であり間口約 10m 奥行き約 23m である写真 1 に外観を図 1 に平面図を示す。

板壁を構成する柱にクリ材が使用されており、杉などと比較し材料強度が高い樹種である。貫は通し貫、板ははめ込みである。

はねがいは弓なり形状で合掌屋根構面の下側に配置されている。はねがい同士の交差部、はねがいと合掌材との接合は縄で結ばれている。合掌屋根全体にはねがいが用いられているため合掌全体の面内剛性を高め、特に桁行方向の荷重に対して、屋根面の微小変位範囲では部材が接合位置



写真 1 外観

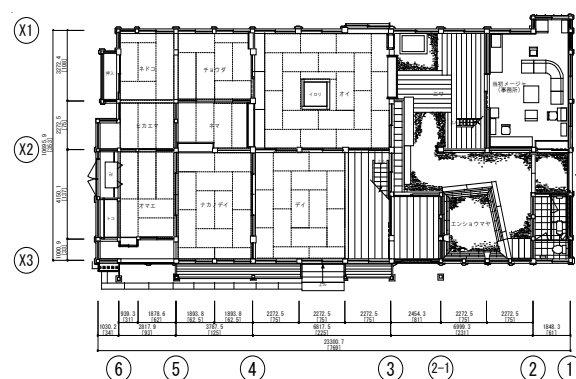


図 1 平面図

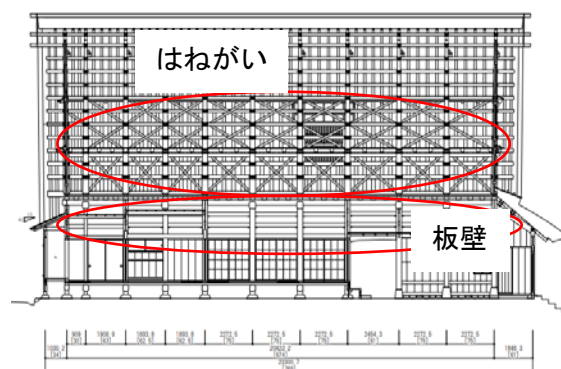


図 2 断面図及び構造要素の位置

で滑り、大きな抵抗を示さず、大変位域に至る直前に縄の変位拘束により高い剛性が発現すると考えられる。

村上家住宅に使用されている主な樹種としては、柱はクリやヒメコマツ、ヒバ、ケヤキ、土台やミズバリなどはクリ、大引や合掌などはヒメコ

マツ、梁はアカマツ、垂木はカラスザンショウやネズコ、壁板はハリギリが使用されている。図 2 に断面図及び構造要素の位置を示す<sup>3)</sup>。

### 3. 構造要素の静的水平繰返加力実験

対象建物の板壁と合掌部分のはねがいを実寸大の試験体を作製し静的水平繰返加力実験を実施した。

#### 3-1. 板壁の静的水平繰返加力実験

板壁は板壁部分と貫部分から構成されている。本実験の目的は板壁と貫の特性を明らかにすることであり、2 スパンの試験体を実験の対象とした。また、実験装置の都合により、柱は実寸よりも短く設計した。実際の板壁の柱はクリ材が用いられているが用意出来なかったため、貫はヒバ、柱・梁は米マツで代用した。試験体数は 3 体(以後、板壁 1~3 と称す)とする。板壁 3 の実験終了後に板を外し貫と柱のみの実験も 1 体ではあるが行った(貫のみと称す)。

柱脚はピン支持となるように治具を用いて、M18 のボルトで固定した。梁となる部分をオイルジャッキで加力した。荷重反転点を  $1/300\text{rad}$ ,  $1/200\text{rad}$ ,  $1/150\text{rad}$ ,  $1/120\text{rad}$ ,  $1/100\text{rad}$ ,  $1/75\text{rad}$ ,  $1/50\text{rad}$ ,  $1/30\text{rad}$ ,  $1/15\text{rad}$  として正負 3 回水平繰返し試験を行った。ロードセルで頂部水平荷重、ワイヤー変位計で頂部水平変位と貫ごとの水平変位、変位計で柱の回転角を計測した。写真 2 に実験の全景を図 3 に変位計設置図、図 4 に柱脚拡大図を示す。

#### 3-2. はねがいの静的水平繰返加力実験

板壁同様に正負水平繰返し試験を行った。

ロードセルで頂部水平荷重、横架材ごとにワイヤー変位計を設置し、それぞれの横架材の変位を計測した。写真 3 にはねがい実験の全景を示す。



写真 2 板壁実験の全景

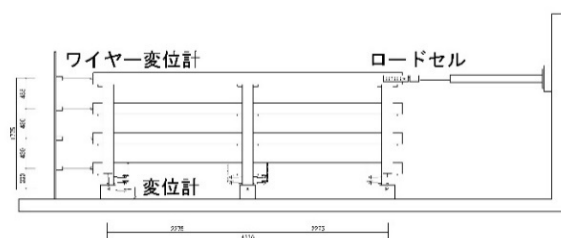


図 3 変位計設置図

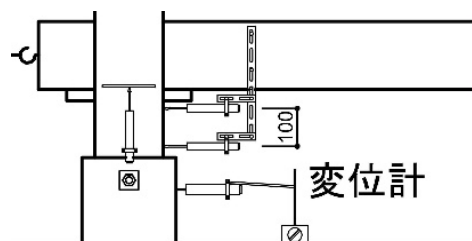


図 4 柱脚拡大図



写真 3 はねがい実験の全景

#### 3-3. 板壁実験結果と考察

- ・ 層間変形角と頂部水平荷重の関係

板壁 1~3 の層間変形角と頂部水平荷重の関係を図 5 に示す。

$1/50\text{rad}$  までは接合部のゆるみ(あそび)で力学的な耐力は低く、 $1/50\text{rad}$  を超えると、接合部の耐力が発揮されハードニング型の復元力特性を示している。その後変形が進むと木材のめり込みにより、剛性低下が発生し紡錘型の復元力特性

を示している。

貫のみの抵抗は層間変形角  $1/50\text{rad}$  以下では貫を含む板壁の抵抗の約 50% である。変形角が大きくなるにつれて貫の抵抗割合は上昇し層間変形角  $1/10\text{rad}$  では約 70% に達する。貫は大変位時の水平抵抗に大きく寄与している。

#### ・層間変形角と接合部節点回転角の関係

試験体中央の柱脚の左右に取り付けた変位計の実験データを用より、接合部の回転角  $\theta$  を求

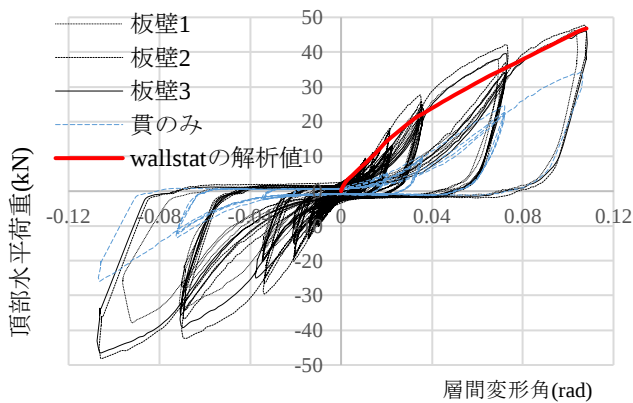


図 5 層間変形角と頂部水平荷重の関係

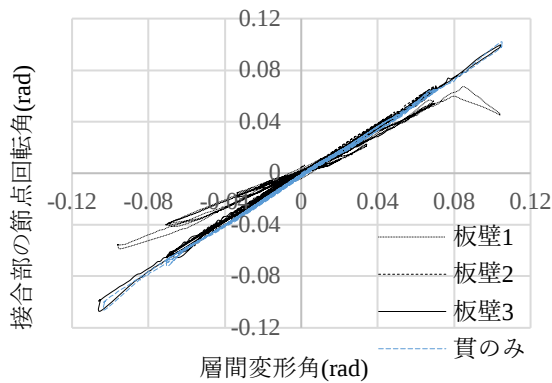


図 6 層間変形角と接合部回転角

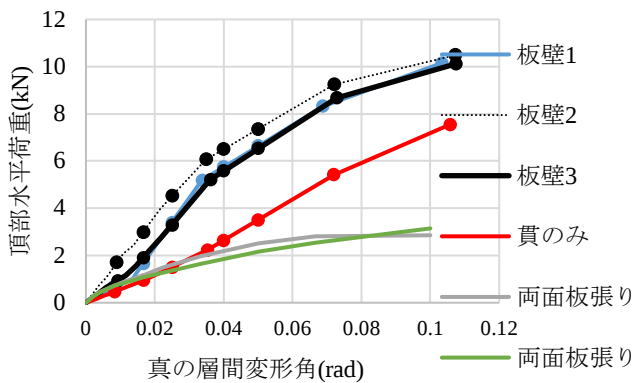


図 7 各試験隊の包絡線

める。層間変形角と接合部の回転角の関係の図を作成し、傾きがほぼ  $45^\circ$  であることを確認した(図 6 参照)。このことは全ての静的加力実験において、柱脚に設置した変位計の上段と下段の差は  $10\text{mm}$  と統一した。全ての板壁試験体においてほぼ  $45^\circ$  となっている。構面全体の層間変形角と接合部の回転角は同一の挙動を示していることから、構面はせん断変形が卓越していると考えられる。

#### ・楔の緩み過程

写真 4 と 5 に板壁試験体の中央柱脚部の楔の緩み過程を示す。接合部回転角が  $1/75\text{rad}$  より徐々に楔が緩み始め、 $1/10\text{rad}$  では楔が抜け始めていることが分かる。この挙動は構面全体の剛性低下の一因として考えられる。



写真 4 接合部回転角が  $1/75\text{rad}$  時の状況

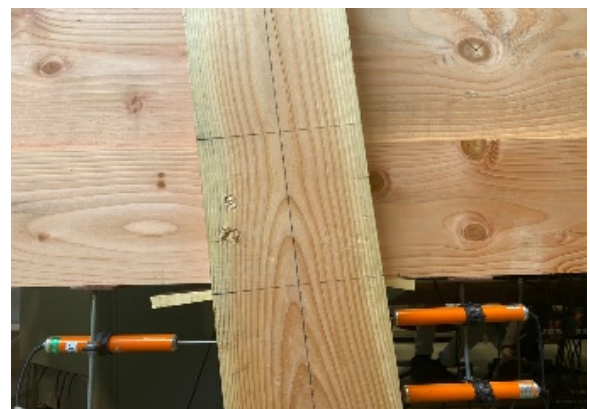


写真 5 接合部回転角が  $1/10\text{rad}$  時の状況  
(楔の抜け出しが確認出来る)

### 3-4. はねがいの実験結果と考察

はねがいの 1 構面を対象として、静的水平繰返し加力実験を行った結果を図 8 に示す。は

ねがいはいは接合部を縄で結んでいるために、初期剛性は低い。しかし変形が 1/50rad 程度を越えると縄が締まる音が顕著となり、剛性の上昇が見られた。典型的なハードニング型の復元力特性を示した。しかし、縄による緊結が接合部の挙動を支配する構造となっているので、はねがい 3 の試験体のように個体差が大きく生じる結果となる場合もあった。

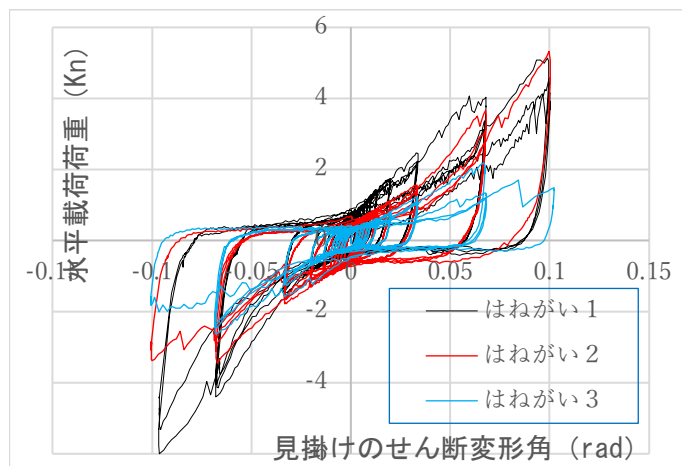


図 8 はねがいの復元力特性

#### 4. 解析用の復元力特性のモデル化

板壁 3 体と貫のみの実験結果に基づいて包絡線を作成し、併せて一般的な両面板張りの 1P と 2P の復元力特性<sup>7)</sup>を図 7 に示す。全てのデータは壁長 1m 当たりに換算する。

図 7 の板壁 3 体の下限値の耐力を示す板壁 3 の実験データを以降の耐震診断及び耐震シミュレーションの板壁要素の力学特性として採用する。

#### 5. 建物重量

固定荷重のうち屋根の茅葺き重量は「重要文化財(建造物)耐震診断設計指針」参考資料集<sup>5)</sup>よ

り、その他は建築物荷重指針・同解説<sup>4)</sup>に基づいて設定した。積載荷重は 2 階床に 10 人程度の観光客がいることを想定し、通常の居住必要積載荷重の約 1/3 とする。1 階床の積載は一般的な居住必要積載と同様とする。冬季間は建物を閉鎖することと近年の状況を踏まえて設計用積雪深は 100 cm とする。積雪荷重は屋根勾配を反映した建築施行令第 86 条より算出する。今回の診断に適用した設計用建物重量一覧を表 1 に示す。

### 6. Wallstat による建物の挙動の把握

#### 6-1. 構面のモデル化

wallstat は木造建物の地震時応答のシミュレーションに使用されるソフトウェアで、建物の挙動を視覚的に捉えられる点も大きな特徴の一つである。ここでは wallstat を適用して合掌建物の地震時挙動を把握する。解析モデルの簡単化を図ることを目的に、今回は合掌屋根部分の重量を 1 層の梁と桁に等分布荷重として与え、屋根を剛体として扱うこととした。(合掌屋根部分の挙動については、研究を継続している)。下屋の主要な構造要素である板壁を板要素と接合部要素に分けてモデル化する。板要素の包絡線は板壁 3 の実験データから貫のみの実験データを引いて求める。接合部要素の包絡線は貫のみの実験データを接合部数で除して求める。接合部要素はバイーリニアモデル(図 9)、板要素はマルチリニアモデル(図 10)とした。柱梁接合部のモーメントばねは一般値<sup>6)</sup>を柱寸法比で割り増す。上記

表 1 設計用建物重量一覧

|      | 大屋根(kN/m <sup>2</sup> ) | 下屋 1(kN/m <sup>2</sup> ) | 下屋 2(kN/m <sup>2</sup> ) | 積載荷重(kN/m <sup>2</sup> ) | 固定荷重(kN/m <sup>2</sup> ) | 各層荷重(kN/m <sup>2</sup> ) |
|------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 層目 | 730                     | 81                       | 22                       | 22                       | 475                      | 1330                     |
| 1 階床 |                         |                          |                          | 155                      | 160                      | 315                      |
| 無積雪  | 615                     | 43                       | 5                        | 22                       | 475                      | 1160                     |

の3つの要素を組み合わせることで構面の復元力特性を設定する。設定した構面モデルを対象にプッシュオーバー解析の結果を図5中の赤線に示す。板壁3の実験結果の包絡線と解析結果は概ね対応している。

## 6-2. 建物のモデル化

前記の構造要素の解析モデルを用いて建物全体の解析モデルを構築する。解析モデルを図11に示す。

本研究では建物のねじれの検討を行った。また、耐震性能評価は損傷限界を考えず安全限界1/15radとし、建築センター波の極稀地震（建築基準法で大地震として規定した地震動）の長手方向と短手方向で解析を行った。解析結果を図12に示し、損傷状況を表す一覧を表2に示す。短手方向の損傷を平面的に模式的に表したものを図13に示す。図中の○数字で示した柱の応答変位の結果に基づいて、長手方向の軌跡（変位①と③）を図14、短手方向の軌跡（変位①と③）を図15に示す。図14より柱①と③の長手方向の応答変位

はほぼ等しく、建物が一体に動いていることが読み取れる。一方、図14より柱①と②の短手方向の最大変位は柱①で約0.15m、柱②は約2倍の0.3mである。変位の軌跡から建物が6通りを中心に回転し、ねじれ振動の挙動を示している。

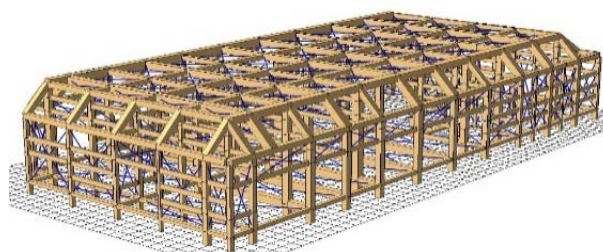


図11 解析モデル

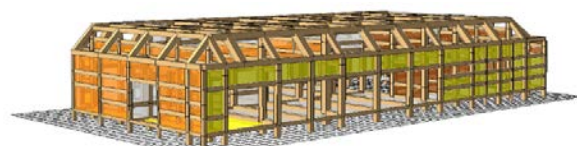


図12 解析結果の一例（加振後の損傷状況）

表2 壁の変形による色分け表

| 変形角 (rad)  | 色    |
|------------|------|
| ～1/120     | 変化なし |
| 1/120～1/30 | 黄色   |
| 1/30～1/15  | オレンジ |
| 1/15～      | 赤    |

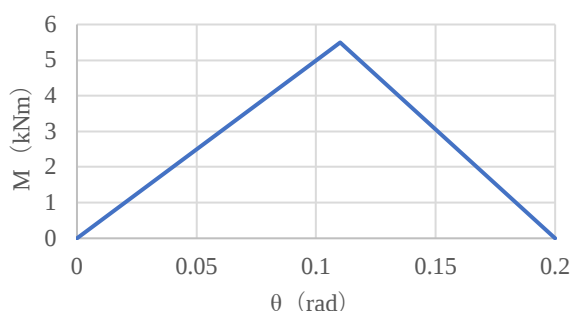


図9 接合部の解析モデル

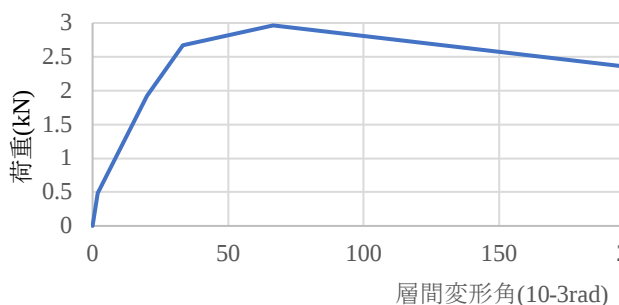


図10 板要素の解析モデル

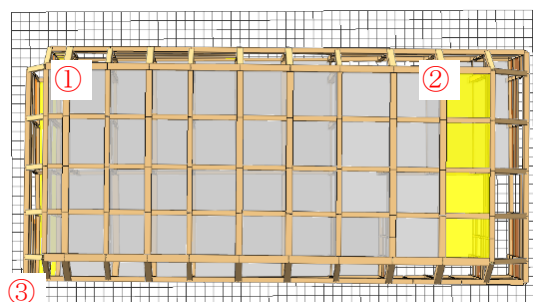


図13 短手方向の損傷程度の模式と

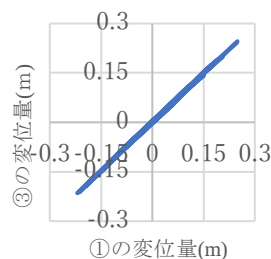


図14 長手方向の軌跡

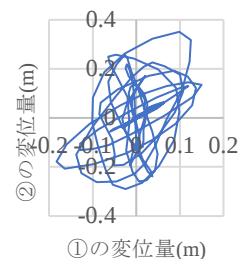


図15 短手方向の軌跡

## 7. 限界耐力計算による耐震性能評価

### 7-1. 建物の応答値の検討

長手方向は建物全体が一体として挙動するので1質点系として解析する。短手方向は建物を一体として考えられないので短手方向の限界耐力計算は図1の1～3通り、4～6通りと建物を2つにゾーニングして検討を行った。

図7の板壁3の包絡線を平滑化し、解析に適用する。試験体は貫3段で作製したため、3段貫の板壁を基準とし1段貫の板壁の場合は3段貫の板壁の包絡線を3で除した包絡線を用いる。同様の考え方で貫の段数に応じて変換する。板壁3の貫段数を考慮した包絡線を図16に示す。

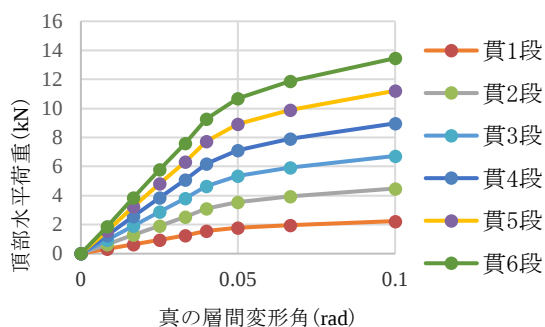


図16 貫の復元力特性

現状の建物の応答値は長手方向の極稀地震では1/10rad、短手方向1～3通りの極稀地震では1/11rad、短手方向4～6通りの極稀地震では1/9radとなった。また、建築センター波におけるWallstatでの最大応答値は長手方向1/17rad、短手方向1/14radとなり、限界耐力計算の結果よりは応答値が小さくなった。今回の解析結果では、限界耐力計算の結果が安全側であることが分かる。

限界耐力計算での長手方向、短手方向ともに安全限界1/15radを満たさなかったため、耐震補強案として乾式の土壁(荒壁パネル)<sup>6)</sup>と仕口タイプ粘弾性ダンパー<sup>6)</sup>を提案する。仕口ダンパーは20cmのものを採用する。X2通りに荒壁パネルと仕口ダンパーを設置した例を展開図として図17に示す。

補強後応答値計算の結果、長手方向の極稀地震では1/15rad、短手方向1～3通りの極稀地震では1/15rad、短手方向4～6通りの極稀地震では1/15radとなり、全ての方向で、安全限界1/15radを満たした。

### 7-2. 柱脚の検討

地震時における柱と礎石間の摩擦について検討する。礎石建て木造建物の場合、柱底面と礎石間の摩擦係数 $\mu$ は平均的数値である0.4として検討する<sup>7)</sup>。図15 短手方向の軌跡

各方向の摩擦について判定した結果、それぞれのベースシア係数は長手方向では積雪時0.34、無積雪時0.38、短手方向1～3通りでは積雪時0.39、無積雪時0.44、短手方向4～6通りでは積雪時0.33、無積雪時0.37となった。短手方向1～3通りの無積雪時ではベースシア係数が想定した摩擦係数0.4を上回り柱脚の移動が生じる可能性があるので、柱脚部の滑動に対する対策が必要となる。

ここでは柱脚の対策案として礎石の拡大を提案する。文献<sup>7)</sup>より、ベースシア係数が摩擦係数を上回ると柱脚部は滑動すると考えられる。

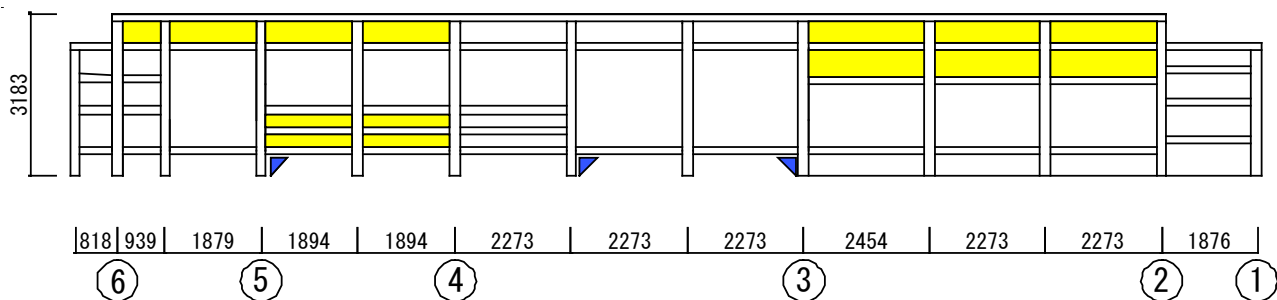


図17 X2通りに設置した荒壁パネルと仕口ダンパーの展開図

極めて稀に発生する地震動に対する柱脚の滑り量は 20 cm とするので、礎石の大きさを柱面から  $\pm 20$  cm とする方法を採用する（柱脚部の滑動量を正確に算出する方法はまだ確立されていない。ここでは、実験結果を基に仮に 20cm 程度の滑動量とした）。

## 8. おわりに

本研究の結果から以下のように結論できる。

- ・実験から得た復元力特性を適応して wallstat で地震応答解析を行った。解析の結果、建物の短手方向ではねじれが生じていた。ただし、倒壊には至っていない。
- ・Wallstat の解析結果に基づいて建物の短手方向は 1～3 通りと 4～6 通りでゾーニングし、限界耐力計算を行った。現状の建物では長手方向、短手方向ともに安全限界  $1/15\text{rad}$  を満たしていないため、これを満足するよう荒壁パネルと 20 cm の仕口ダンパーを配置し、補強案として提案した。
- ・今回の研究対象とした伝統的合掌造の建物において、限界耐力計算と wallstat で評価して得られた最大応答値は、限界耐力計算の応答結果が全てで上回っており、安全側の評価結果が得られた。

## 謝辞

本研究を行う上で、南砺市村上家及び南戸市役所の皆様、建物の調査や試験体の作成では富山職藝学院の上野幸夫教授に、多大な御協力をいただきました。また、実験及び現地調査では金沢工業大学生柳澤絵吏沙、馬淵紗緒さん（当時）には多大な協力を頂きました。ここに、感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 松田昌洋，腰原幹雄：白川郷合掌造り民家の垂れ壁付き独立柱の静加力実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，(2016. 8)，pp. 443-444.
- 2) 金子慎也，高島英幸：白川郷合掌造りの構造モデル化及び静的弾性解析，日本建築学会大会学術講演梗概集，(2009. 8)，pp. 873-874.
- 3) 重要文化財村上家住宅修理委員会：重要文化財村上家住宅修理工事報告書，重要文化財村上家住宅修理委員会，(1971)，pp. 1-10.
- 4) 日本建築学会：建築物荷重指針・同解説，丸善，(2004)，p. 135.
- 5) 文化庁：重要文化財(建造物)耐震基礎診断実施要項，文化庁，(2012)，p9.
- 6) 木造軸組構法建物の耐震設計マニュアル編集委員会：伝統構法を生かす木造耐震設計マニュアル，学芸出版社(2011)，p. 77, 84, 100.
- 7) 伝統的構法木造建築物設計マニュアル編集委員会：伝統的構法のための木造耐震設計法，学芸出版社(2019)，p85. pp107-108.



成分の計測をした。建物の計測では、2 階床梁上と小屋梁上、および、自由地盤上の計測点において、水平 2 成分の多点同時計測を実施した。計測点のフーリエスペクトルを自由地盤の値で除したものをフーリエスペクトル比とし、図 4 に示す。梁間方向の固有振動数は 3.2Hz、5.2Hz、桁行方向の固有振動数は 3.3Hz、4.7Hz であった。

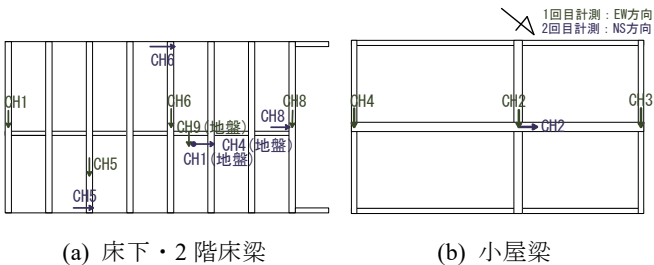


図 3 常時微動計測における計測点配置

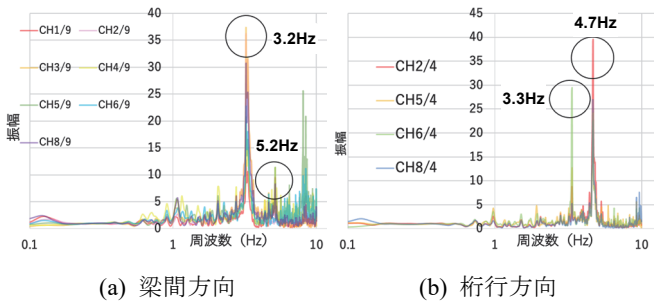


図 4 フーリエスペクトル比

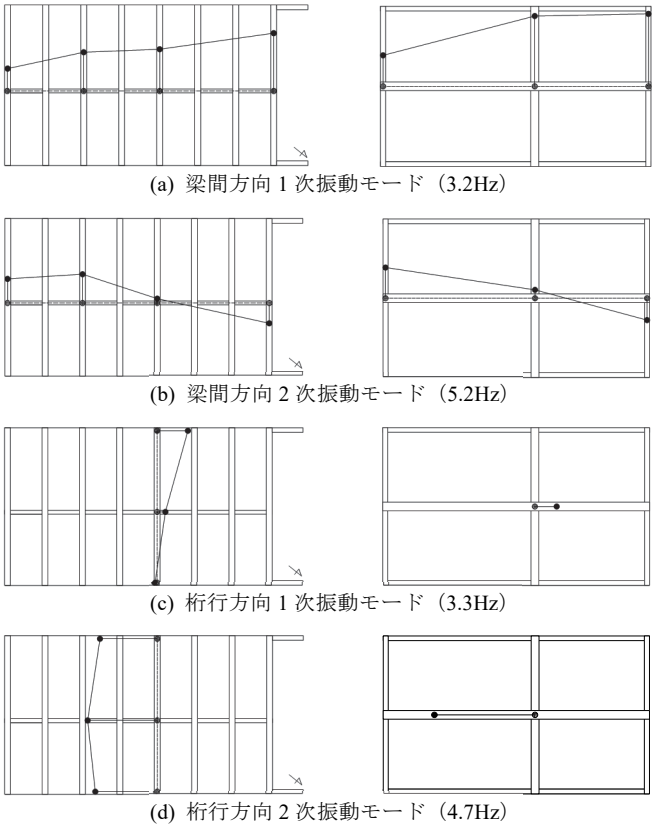


図 5 振動モード形状

固有振動数の小さい順に 1 次、2 次とし、振動モード形状を図 5 に示す。梁間方向の 1 次振動モードは、開口の多い入口側（北側）の振幅が大きい。桁行方向の 1 次は、損傷の大きい南面側の振幅が大きい。

2.3 耐震性評価

耐震性を検討する指標として、実測情報に基づき、限界耐力計算に基づいて算出したベースシア係数  $C_b$  の推移を図 6 に、縮約 1 質点系応答値を図 7 に示す。また、喜多市は多雪地域であることを考慮し、重量計算において 1m の積雪荷

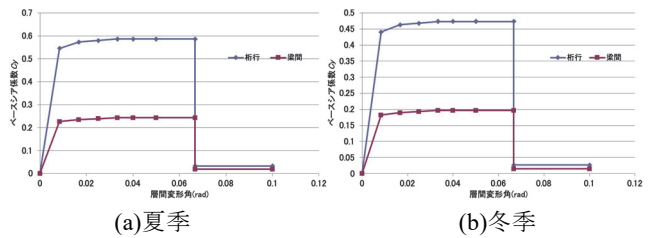


図 6 降伏ベースシア係数の推移

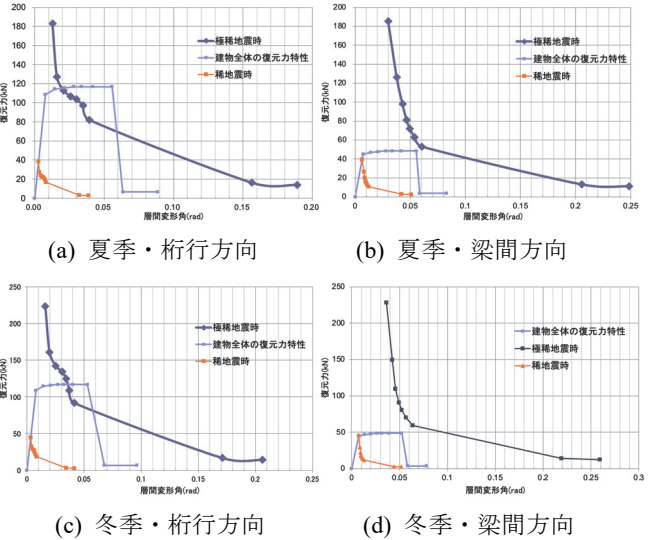


図 7 縮約 1 質点系応答値

表 1 計測値および評価値のまとめ

|                    |    |       |      |        |
|--------------------|----|-------|------|--------|
| 固有振動数 (Hz)         | 梁間 | 1 次   | 3.2  |        |
|                    |    | 2 次   | 5.2  |        |
|                    | 桁行 | 1 次   | 3.3  |        |
|                    |    | 2 次   | 4.7  |        |
| 降伏ベースシア係数<br>$C_b$ | 夏季 | 梁間    | 0.24 |        |
|                    |    | 桁行    | 0.59 |        |
|                    | 冬季 | 梁間    | 0.20 |        |
|                    |    | 桁行    | 0.47 |        |
| 応答変形角 (rad)        | 夏季 | 稀地震時  | 梁間   | 0.006  |
|                    |    |       | 桁行   | 0.003  |
|                    |    | 極稀地震時 | 梁間   | 倒壊     |
|                    |    |       | 桁行   | 0.0208 |
|                    | 冬季 | 稀地震時  | 梁間   | 0.0083 |
|                    |    |       | 桁行   | 0.003  |
|                    |    | 極稀地震時 | 梁間   | 倒壊     |
|                    |    |       | 桁行   | 0.0333 |

重を想定した冬季と、積雪荷重非考慮の夏季の 2 通りの比較検討を行った (表 1)。夏季の降伏ベースシア係数は桁行方向が 0.59、梁間方向が 0.24、冬季は桁行方向が 0.47、梁間方向が 0.20 であった。縮約 1 質点系応答値より稀地震時は夏季・冬季ともに安全側にあるが、極稀地震時には夏季・冬季ともに梁間方向が倒壊すると推定される。

### 3. 壁要素試験体を用いた対角圧縮試験

前章の調査後の 2020 年 10 月に N 邸の解体が行われたが、その際に壁の一部を切り出し、対角圧縮試験を行う<sup>4,5)</sup>。

#### 3.1 壁要素試験体

N 邸の平均的な壁断面模式図を図 8 に示す。建物内側は真壁、外側は大壁となっている。壁全体の厚さは 200mm 程度であった。貫や木舞の材種や寸法は図中に示す。

切り出し後の要素試験体を写真 2 に示す。壁側面から躯体 (貫・柱) を避けて 500mm 角で土壁を切り出す。計 17 体 (東面 6 体、南面 6 体、西面 5 体、北面 0 体) を切り出すことができた。外壁面は砂壁仕上げで傷はほとんど見られず、内壁面は土の仕上げでひび割れが多く脆かった。断面は外側壁、木舞、内側壁、外壁の 3 層に分かれて見えた。本報では東面 5 体 (N1~N4, N6) の結果を述べる。

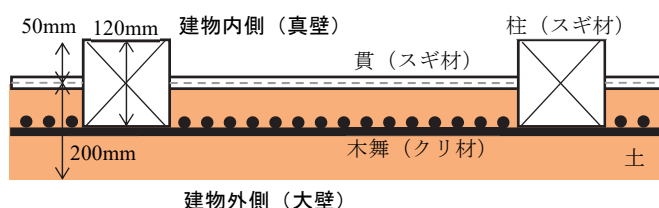


図 8 N 邸の平均的な壁断面模式図



(a) 内壁面（真壁） (b) 断面 (c) 外壁面（大壁）

写真 2 切り出し後の要素試験体

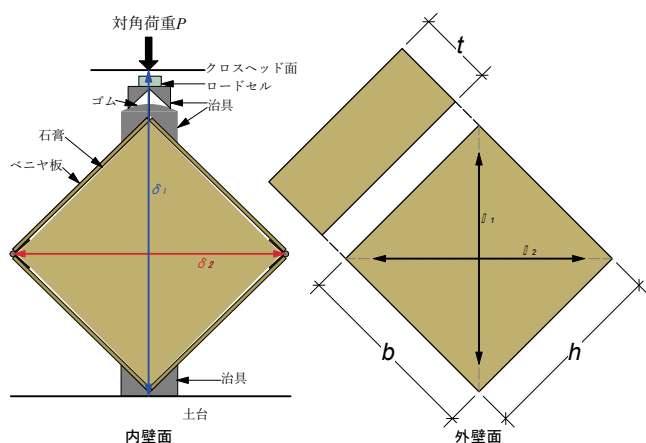


図 9 加力システムと変位の計測位置

#### 3.2 加力・計測方法

加力システムと変位計測位置を図 9 に示す。試験体を 45 度傾斜させてアムスラー型万能試験機に設置し、対角荷重  $P$  を加える。切断面 4 辺には石膏を塗り、外枠としてベニヤ板を当てて崩れを防止する。上下に加力治具を設置し、紙面下向きに圧縮力を加える。圧縮荷重は、治具とクロスヘッドの間に挟んだロードセルで計測する。変位は、試験体の上下水平対角の変位を、外枠および土壁に直接設置したワイヤー変位計で測定した。加力は、試験体の初期上下対角長さに対する上下対角変位を変形率として制御する。

#### 3.3 試験結果

##### 1) 破壊性状

試験体 N3 を代表させ、破壊後の様子を写真 3 に示し、全試験体の外壁面（大壁）の破壊の進展を表 2 にまとめる。全試験体で小舞が振れたことに起因して、外壁側の層の剥離、内壁側の層の剥離が順に進行した。内壁面は変形率 4% あたりから、外壁面は変形率約 6% から小舞から剥がれ始めた。内壁面は 13~15% で、外壁面は 16% を超えて完全に剥離した。外壁面・内壁面に水平方向のひび割れが生じた。



(a) 断面の剥離 (b) 外壁面の剥離 (c) 内壁面の剥離

写真 3 壁試験体 N3 の破壊後の様子

表 2 外壁面（大壁）の破壊の進展一覧

| 変形率 | N1   | N2   | N3   | N4   | N6   |
|-----|------|------|------|------|------|
| 3%  |      | 剥離開始 |      |      |      |
| 4%  |      |      |      |      | 剥離開始 |
| 6%  | 剥離開始 | ひび割れ |      |      |      |
| 7%  |      |      | 剥離開始 | 剥離開始 |      |
| 10% |      | 概ね剥離 |      |      |      |
| 11% |      | ひび割れ | ひび割れ |      |      |
| 12% | 概ね剥離 |      |      |      | ひび割れ |
| 14% |      |      | ひび割れ |      |      |
| 19% |      |      |      | 概ね剥離 |      |
| 20% |      |      |      | ひび割れ |      |
| 22% |      |      | 概ね剥離 |      |      |

##### 2) 復元力特性

荷重－変形率関係を図 10 に、せん断応力度－せん断ひずみ度関係を図 11 に示す。外壁側、内壁側の順に剥離した。変形率 6~10% で生じる外壁面の剥離に応じて、最大せん断応力は 3.5~4.5N/mm<sup>2</sup> 程度と得られ、最大せん断応力度は

0.025～0.045N/mm であった。最大荷重到達後に荷重が低下するが、再度耐力が回復する場合は、内壁面と小舞の層による抵抗力、もしくは、小舞の層のみによる抵抗力によると考えられる。剥落の進展に伴ってせん断力を負担する壁厚が順次低減することを踏まえると、3 層（外壁層、内壁層と小舞の層）で抵抗しているときのせん断応力度よりも、2 層（内壁層と小舞の層）で抵抗する時の方が高く、さらに、1 層（小舞の層）のときの応力度が高いことがわかった。

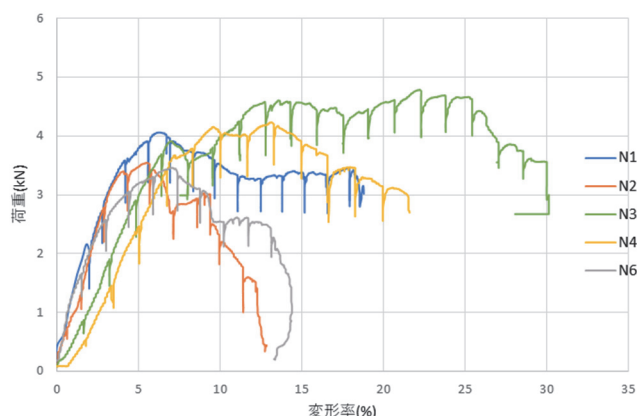


図 10 荷重－変形率関係

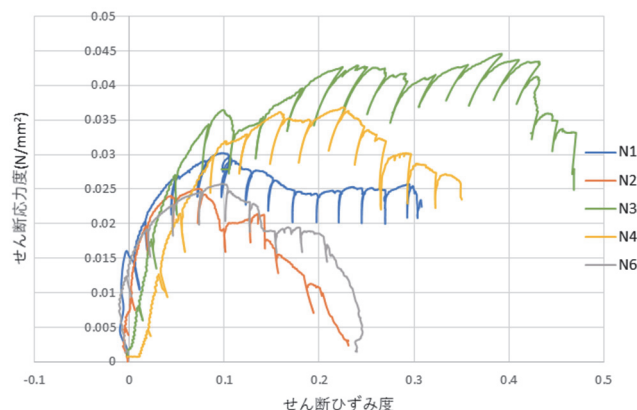


図 11 せん断応力度－せん断ひずみ度関係

#### 4. 躯体から採取した木材の材料特性値

解体時の壁切り出しと同時に、躯体の木部材を採取し、その古材から切り出した試験片の曲げ試験を行う。

##### 4.1 古材の採取と試験片の切り出し

採取した古材は、小屋裏の梁（梁 1,2）と桁（桁 1,2）、1 階柱（柱 1）、2 階柱（柱 2）、および、土台（土台 1,2）の 8 部

材である（表 3）。材種は、梁・桁・柱はスギ、土台はクリで、大工へのヒアリングから、福島県産と推定される。部材は建築当時のもので桁 2 には蟻害が見られた。含水率は 20～25% 程度が平均的であったが、30%に近い部材も見られた。

これらの古材から試験片を計 32 本切り出した。

#### 4.2 試験・計測方法

JIS Z 2101 に準じて 4 点曲げ試験を行う。横臥した試験片の上下中央にひずみゲージを貼り付け、荷重とひずみの計測値より、曲げ強度及び曲げヤング係数を推定する。試験前に寸法と質量の計測を行い、密度を求める。

#### 4.3 試験結果

試験結果を表 2 に示す。スギは曲げ強度が 6～9N/mm<sup>2</sup> 程度で、ヤング係数が 11～15kN/mm<sup>2</sup> であった。蟻害が確認された桁 2 はヤング係数が低く、含水率も高い。クリは曲げ強度が 9N/mm<sup>2</sup> 程度で、ヤング係数に差があった。土台 1 は土台 2 より含水率が高く、ヤング係数が低い。

#### 5. まとめ

本報では、喜多方市の伝統的な土蔵造建造物の耐震性の評価基準の見直しに向けた知見を得るため、N 邸を対象として、建物の構造調査を実施し、切り出した壁要素に対する対角圧縮試験、および、古材の曲げ試験を行い、土蔵の耐震性の把握、大壁の破壊モードやせん断強度、および、木材の材料特性を把握した。

#### 謝辞

本研究の一部は、松井角平記念財団 2019 年度研究助成（代表者：多幾山法子）の補助を受けた。また、喜多方市役所の皆様、福島県建築士会喜多方支部・加藤俊哉氏、ならびに、株式会社唐塚公務所・庚塚俊恵氏より多大なご協力を頂いた。

#### 参考文献

- 1) 木造軸組構法建物の耐震設計マニュアル編集委員会：伝統構法を生かす木造耐震設計マニュアル-限界耐力計算による耐震設計・耐震補強設計法，学芸出版社，2004.3.
- 2) 藤井文雲，千野詠子，扇野智弘，舩津寛子，多幾山法子：喜多方市小田付における伝統的土蔵造建物の構造調査と土壁剥落を仮定した耐震性検討，日本建築学会関東支部研究報告集，91(I)，pp.401-404，2021.3.
- 3) 文化庁：伝統建造物群保存地区  
<https://www.bunka.go.jp/seisaku/bunkazai/shokai/hozonchiku/>，（2020 年 12 月 1 日参照）
- 4) 小池奨，陳昕岩，多幾山法子：静的加力実験に基づく硬質ウレタンフォームを充填した木造平面壁の力学特性の解明，日本建築学会関東支部研究報告集，2020.3.
- 5) 諏訪愛，大楠海加，角崎康太，田才晃，高島健史，中村亮太：ALC ブロックを用いた組積体の材料特性と組積壁の面内せん断性状に関する実験的研究 その 2:プリズム圧縮試験及びプリズムせん断試験，日本建築学会大会学術講演梗概集，2015.9.

表 3 古材より切り出した木材試験片の曲げ試験結果

| 部材名                                         | 梁 1      | 梁 2      | 桁 1      | 桁 2      | 柱 1      | 柱 2      | 土台 1     | 土台 2     |
|---------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 密度 (×10 <sup>3</sup> kg/m <sup>3</sup> )    | 0.437603 | 0.521823 | 0.431664 | 0.485793 | 0.509721 | 0.421531 | 0.656815 | 0.525924 |
| 曲げ強度 (×10 <sup>3</sup> N/mm <sup>2</sup> )  | 0.08689  | 0.090288 | 0.069769 | 0.078163 | 0.082927 | 0.064208 | 0.089813 | 0.087827 |
| ヤング係数 (×10 <sup>3</sup> N/mm <sup>2</sup> ) | 11.76593 | 15.10545 | 14.79111 | 9.112187 | 11.29174 | 12.51566 | 11.45716 | 15.19966 |
| 搬入時の含水率 (%)                                 | 20.4     | 25.2     | 20.9     | 28.5     | 21.2     | 24.2     | 34       | 14       |
| 材種                                          | スギ       |          |          |          |          |          | クリ       |          |

壁土の水合わせ期間最適化に関する基礎的研究  
(2019 年度松井角平記念財団助成研究)

京都府立大学大学院  
田淵敦士

1. はじめに

伝統的な土壁においては土、藁および水を混ぜたのち、適当な期間寝かせておく水合わせと呼ばれる手法が用いられていた。水合わせをすることで、施工性や力学的特性を向上させる目的がある。経験的に夏季3～4ヶ月とも言われ、ある程度の高湿多湿な環境で寝かせることが想定されている。本研究では京都の夏(8月)を想定した温湿度において、京都産の荒壁土が水合わせによって強度的な変化を起こす過程を実験的に明らかにすることを目的とする。

2. 実験のパラメータ

供試体作製に際して、表1に示す水土比と水合わせ期間を変数とした。

表1. 実験パラメータ

|                  |                                                                                                                                                                  |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 水土比<br>( $W/M$ ) | 荒壁土の重量( $M$ )に対する水重量( $W$ )の割合で、40%から25%まで5%刻みで4段階(40%,35%,30%,25%)を設定した。                                                                                        |
| 水合わせ条件           | 荒壁土、水および藁スサを混合してから一定の温湿度条件で静置し、型枠に詰めるまでの期間で、京都市の8月を想定して29°C、湿度66%とした。これは京都地方気象台で観測された8月の平均気温と平均湿度について2011年から2020年までの平均をとったものである。期間は0日、7日、14日、21日および28日の5段階を設定した。 |

藁スサは荒壁土の重量( $M$ )に対して0.45%となるようにした。これは土塗壁の壁倍率を規定した建設省告示第1100号(以下、告示)を参考に決めたものである。告示では荒壁土100リットルに対して藁スサを0.4kg以上0.6kg以下で混合するとある。今回の実験ではプラスチック製のバケツ(容量10リットル)を用いて供試材料である荒壁土の見かけの密度を測定したところ約1.2g/mm<sup>3</sup>であった。そのため荒壁土の重量( $M$ )に対して0.45%となるように藁スサの重量を測定して混合すれば告示同等の荒壁土になると判断した。本研究における荒壁土、藁スサならびに水の重量を表2に示す。

また、荒壁土のみの特性を明らかにするために、藁スサを混合しない供試体を水土比毎に作製した。この供試体は水合わせ期間を0日とした。

表2. 荒壁土圧縮試験供試体の調合

| 荒壁土重量(kg) | 藁スサ(g) | 水重量 (kg) |        |        |        |
|-----------|--------|----------|--------|--------|--------|
|           |        | 水土比25%   | 水土比30% | 水土比35% | 水土比40% |
| 8.0       | 36     | 2.0      | 2.4    | 2.8    | 3.2    |

### 3. 供試体作製方法

以下の手順で供試体の作製を行った。

#### 1) 荒壁土と藁スサの乾燥

実験に使用する荒壁土と藁スサをステンレス製の容器に入れ、105℃に設定したオーブンをを用いて全乾状態にした。ここでの全乾状態とは6時間ごとに測定した質量の差が供試材（土または藁）の質量の0.1%以下の状態にあることとした。

#### 2) 荒壁土の養生と藁スサの混合

乾燥した荒壁土は重量を測定したのち、プラスチック容器に移し所定の水土比になるように水を入れて24時間程度静置した。その後、水土比の微調整を行ったあと、所定重量の藁スサを混合した。

図1に荒壁土、藁スサならびに水を混合したのちの状態を示す。

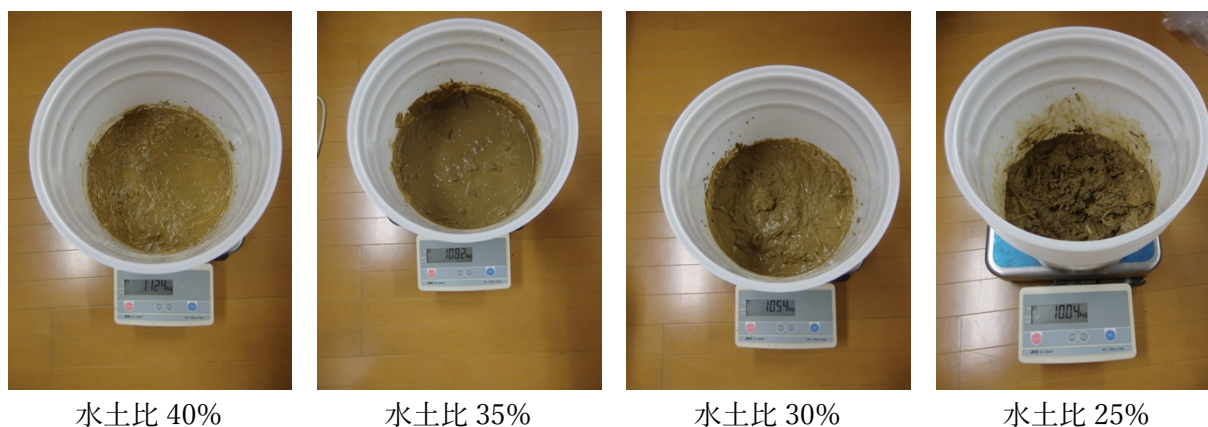


図1. 各水土比における藁スサ混合直後の様子

#### 3) 水合わせ

温度29℃、相対湿度66%に設定した恒温恒湿機（espec PR-4KPH）に上記の混合した土を静置した。水合わせ期間中は概ね1日ごとに重量測定を行い、減少した重量分の水を補充した。なお、かき混ぜ等の作業は行っていない。

#### 4) 型枠充填

水合わせ期間が終了したものについて、重量の確認を行った上で型枠に充填した。型枠の形状はJIS A 1132（コンクリート強度試験用供試体の作り方）に準拠し、直径

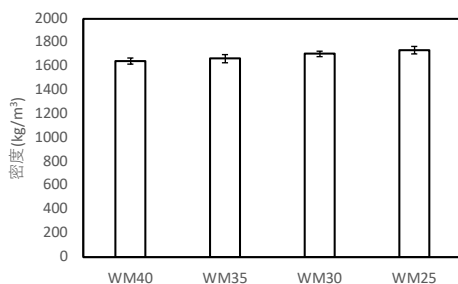


図2. 各水土比における供試体密度



図3. 圧縮試験のセットアップ概要

100mm、高さ 200mm の円柱状のものとした。

#### 5) 供試体養生

型枠に充填した壁土は 40℃に設定したオーブンに 5 日程度入れ脱型が出来る程度の硬さまで乾燥させた。脱型後さらに 2 日程度 40℃のオーブン中で乾燥させたのち 105℃で重量変化がなくなるまで乾燥させた。この乾燥後に測定した重量および体積から算出した供試体の密度を水土比毎に図 2 に示す。水土比が小さくなると目視で確認出来る程度の空隙もあったが、密度を算出するのに用いた体積にはこれらの空隙の影響は含んでいない。それでも水土比が小さくなる、つまり水が少なくなるにつれて密度が大きくなる結果となった。

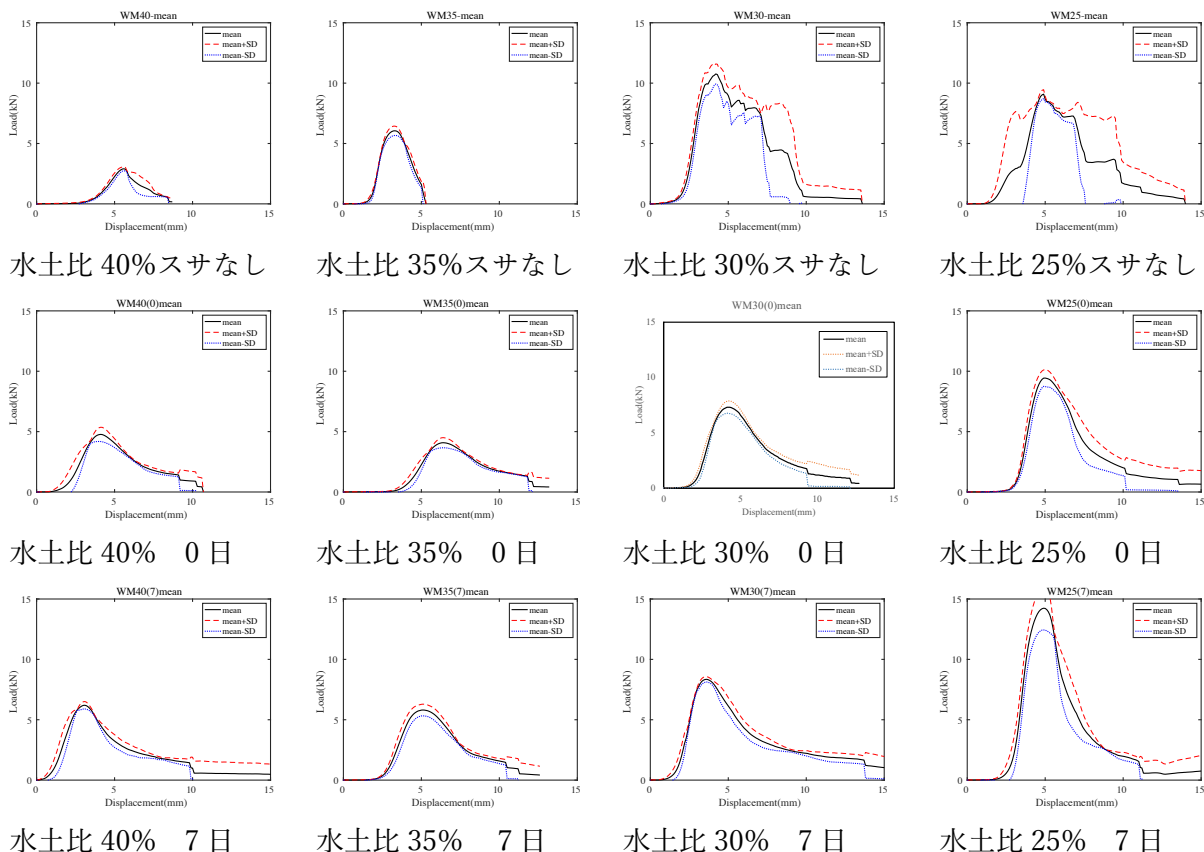
### 4. 圧縮試験

#### 4.1 試験方法

圧縮試験は万能試験機を用いて行った。供試体の上にコンクリート圧縮試験用のアンボンドキャッピングを載せ、載荷速度 1mm/min にて供試体が破壊にいたるまで載荷した。このとき載荷台への反力を荷重として、また載荷台とクロスヘッドとの相対距離の変化を変位として計測した。図 3 に圧縮試験供試体を万能試験機載荷台に載せたときのセットアップの様子を示す。

#### 4.2 試験結果

荷重－変位関係を図 4 に示す。ここで示すグラフは、3 体の圧縮試験結果に対して、最大荷重を発現した際の変位を一致させた後、荷重の平均値をとったものである。同時に標準偏差を求め、平均値±標準偏差の関係もあわせてグラフ化した。



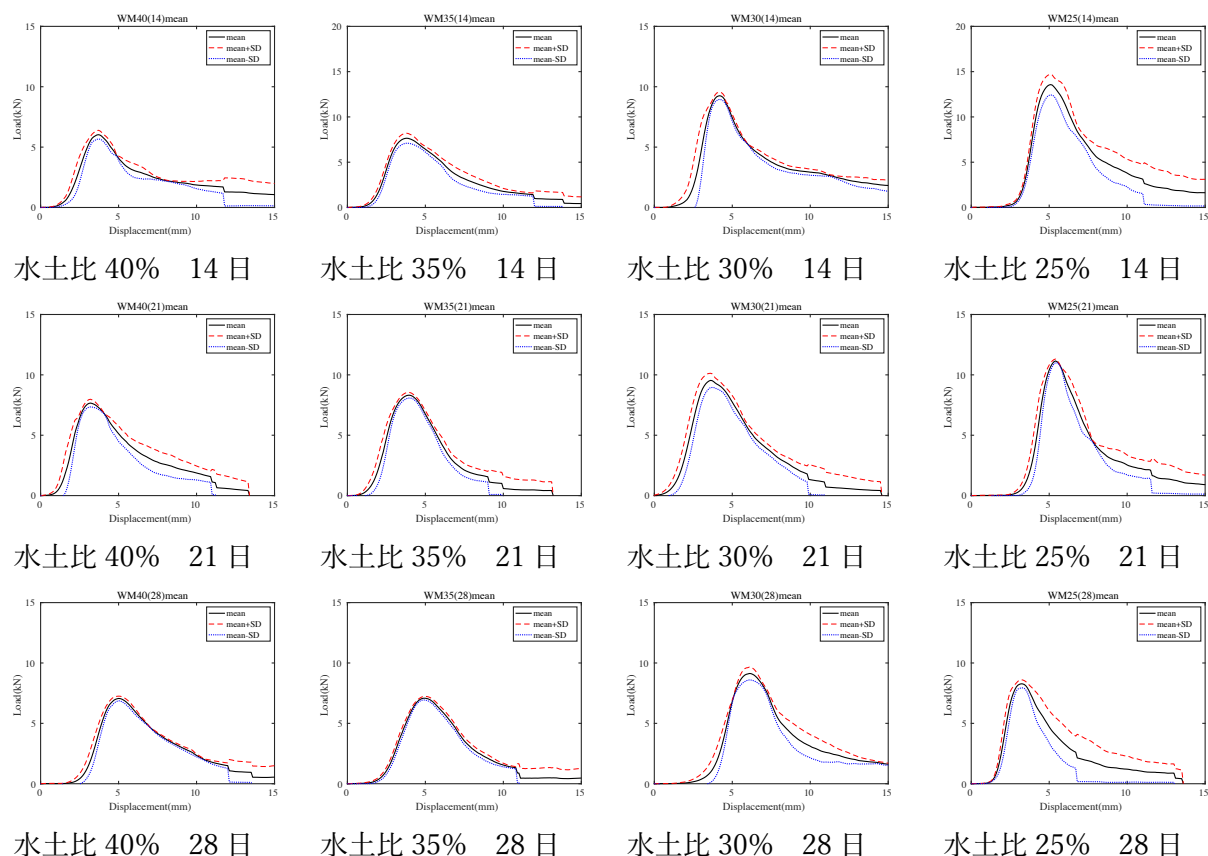


図 4. 平均化した荷重－変位関係

藁スサを混合していない供試体、特に水土比の小さなものは荷重－変位関係が不安定なまま推移した。水土比が 30%と 25%のものは最大荷重後に荷重が低下したのち、さらに上昇したり下降したりを繰り返しながら破壊にいたった。藁スサを混合している供試体は初期すべりを経て滑らかに荷重が上昇し、最大荷重後も滑らかな荷重低下の傾向を示した。

各水合わせ期間において、概ね水土比が小さくなると最大荷重が大きくなる傾向があった。

一方で荷重－変位関係の概形的な特徴には水合わせ期間の顕著な特徴はなかったが、水土比が大きな 40%と 35%のものについては、水合わせ期間が長くなると最大荷重がやや大きくなる傾向が見てとれた。このことは水合わせ期間に関係なく、藁スサが適正量混合されていれば、最大荷重到達後も滑らかな変形特性を有していることを示している。

## 5. 剛性と圧縮強度

各圧縮試験の結果として得られた荷重－変位関係から剛性と圧縮強度を求めた。剛性は最大荷重の 10%と 40%となる荷重－変位関係図上の点を結んだ直線の傾きとし、圧縮強度は最大荷重を供試体断面積で除した値とした。また密度は圧縮試験の載荷前に計測した供試体重量を供試体の体積で



水土比 40% 14 日      水土比 30% 14 日

図 5. 圧縮破壊の例

除して求めた。図 6 に剛性、圧縮強度および密度のそれぞれの関係を示す。いずれも正の相関があり、決定係数が 0.51~0.76 と高い相関を示すことが分かった。

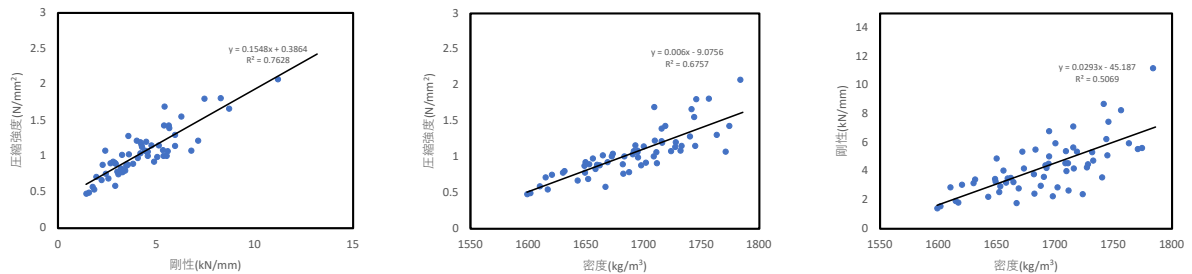


図 6. 剛性、圧縮強度および密度の関係

次に各水土比における水合わせ期間別の剛性および圧縮強度の平均値を図 7 と 8 に示す。いずれの水土比についても水合わせ期間 7 日~21 日の間に剛性および圧縮強度ともにピークがある。また水土比が小さくなるにつれて、剛性および圧縮強度ともに上昇する傾向がみてとれる。

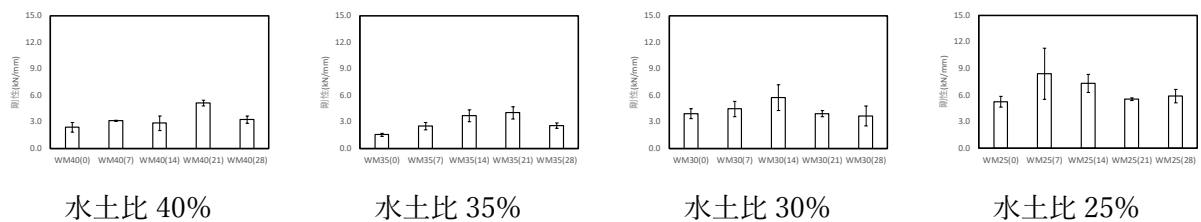


図 7. 各水土比における水合わせ期間別の剛性

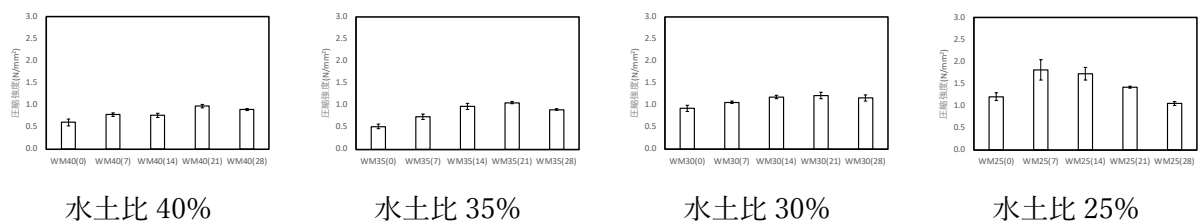


図 8. 各水土比における水合わせ期間別の圧縮強度

## 6. まとめ

伝統的な荒壁土の水合わせにおいて、藁スサの混合有無、混合する水の量（水土比）ならびに京都の 8 月を想定した温湿度条件において圧縮実験を行ったところ、次のことが分かった。本研究においては圧縮性能のみに関しての結果であり、曲げ性能やせん断性能などの他の力学的特性についても検証する必要がある。また、本研究では水土比は水合わせ期間中も同程度に保ち途中の練り混ぜを行わないという条件で実施した、水合わせ期間中の適切な水土比や練り混ぜのタイミング、あるいは藁スサ追加の是非などについても検証が必要である。

1. 藁スサを混合することで強度の発現ならびに低下の過程において安定した破壊に至る。

2. 破壊の仕方に水土比ならびに水合わせ期間の影響は現れなかった。
3. 水土比を小さくすると密度が大きくなり、剛性および圧縮強度ともに大きくなる。
4. 剛性と圧縮強度の間には高い相関があり、密度と剛性および密度と圧縮強度の間にも高い相関があった。
5. いずれの水土比においても水合わせ期間を長く取ることによって剛性や圧縮強度の力学的性能が必ずしも向上するわけではないが、藁スサを追加する適切なタイミングを判断するデータにはなり得る。

松井角平記念財団 2019 年度助成研究  
「重文堀家住宅（賀名生皇居）の当初復元研究」研究成果報告書

中尾七重（山形大学理学部）、坂本稔（国立歴史民俗博物館）、  
箱崎真隆（国立歴史民俗博物館）、鈴木あるの（京都橘大学）、  
碓田智子（大阪教育大学）、藤田盟児（奈良女子大学）、  
植松清志（大阪教育大学）、大野敏（横浜国立大学）

## 1. 重要文化財堀家住宅

国指定重要文化財堀家住宅（奈良県五條市西吉野町賀名生）は、現在日本に残る江戸時代以前の古民家 3 棟の一つであるが、棟札などの文字記録は無く、建築年代は不明である。堀氏は初代熊野別当長快が先祖で、承久の乱後、賀名生に土着した。堀信増は賀名生行宮時の後醍醐天皇と後村上天皇に尽くしたと伝わる。堀家住宅建設時の状況は不明である。水戸光圀の「大日本史」で堀家住宅が賀名生皇居に比定された。最古の日の丸の旗など南朝関連の宝物や天誅組関係の遺物が所蔵されている。

本助成研究は、松井角平記念財団 2018 年度助成研究「重要文化財堀家住宅の建築年代調査と当初復元」を進展させ、放射性炭素年代調査を進め、堀家住宅の変遷と当初、1 次改造、2 次改造のⅢ期にわたる変遷復元を行った。研究成果は、堀家総合調査研究会第 1 回研究報告会および日本文化財科学会第 38 回大会にて研究発表を行った。研究明パネルを作成し、堀家にて展示活用されている。

## 2. 試料採取および測定

2020 年 12 月 3 日は中尾・鈴木、2021 年 11 月 19 日は中尾が、重要文化財堀家住宅にて  $^{14}\text{C}$  年代調査の試料採取を実施した。試料は 1 部材につき 2~3 ヶ所、各 5 年輪試料で 20~50mg 程度、日常損耗の範囲で採取した。堀 3（天井貫/保存材、再測定）、堀 10（小屋裏柱/保存材）、堀 11（柱は四/中二階）、堀 12（柱は四/中二階）、堀 13（根継柱は四/保存材）、堀 14（天井根太受/保存材）、堀 15（切断柱は五/中二階）、堀 16（柱は六/中二階）、堀 17（中二階床板/中二階）、堀 18（梁ろ通二-七）、堀 19（柱に五/中二階）について、各 1~3 点の年代試料と樹種試料を採取した。

採取試料は、樹種同定を箱崎が、有機溶媒中の超音波洗浄および酸・アルカリ・酸（AAA）処を坂本が国立歴史民俗博物館年代実験室で行った。堀 13 は酸素同位体比年輪年代法にも供するため、セルロース抽出を箱崎が行った。処理済試料のグラファイト化および AMS 測定は山形大学高感度加速器質量分析センター門叶冬樹教授が行った。IntCal20 の較正プログラム RHC<sup>1</sup> を用いた解析および暦年較正を坂本が行った。測定の結果を表 1 に示す。

## 3. 酸素同位体比年代法による堀 13 の部材年代決定

堀 13(根継柱は四)について、箱崎が酸素同位体比年輪年代法と炭素 14 年代法の年代測定を実施した。酸素同位体

比年輪年代法は、木材資料の年輪セルロースの酸素 16 と酸素 18 の比を測定し、その変動パターンを標準年輪曲線と照合して誤差 0 年の年代を求める新しい年輪年代法である。2010 年代に長期にわたる標準年輪曲線が日本各地で整備され、実用化に至った。

表 1 堀家試料データ

| 部材番号 | 部材名番付      | 木取樹種           | 年輪位置/最外層を1 | 測定番号     | $^{14}\text{C}$ 年代 (yrBP±σ) | 較正暦年代 calAD                          | peak 1st 2nd | 建物変遷期    |
|------|------------|----------------|------------|----------|-----------------------------|--------------------------------------|--------------|----------|
| 堀1   | 天井貫に三      | 芯持材マツ          | 1-5        | YU-10015 | 323±20                      | 1503-1605(75.7%)                     | 1633         | Ⅲ        |
|      |            |                | 9-13       | YU-10016 | 335±20                      | 1618-1642(19.8%)                     | 1527         |          |
| 堀2   | 梁ぬ又三〜ぬ七    | 芯持材マツ          | 1-5        | YU-10017 | 359±20                      | 1484-1528(53.4%)                     | 1504         | Ⅰ<br>庫裏  |
|      |            |                | 10-14      | YU-10018 | 356±20                      | 1592-1634(42.1%)                     | 1619         |          |
|      |            |                | 26-29      | YU-10019 | 362±20                      |                                      |              |          |
| 堀3   | 天井貫に七〜へ七   | 四ツ割材<br>辺材ありマツ | 1-5        | YU-12912 | 331±20                      |                                      |              | Ⅱ        |
|      |            |                | 16-20      | YU-12913 | 252±20                      | 1547-1577(95.4%)                     | 1564         |          |
|      |            |                | 24-28      | YU-12914 | 277±20                      |                                      |              |          |
| 堀4   | 桁は七        | 芯持材マツ          | 1-5        | YU-10023 | 333±20                      | 1489-1534(36.5%)                     | 1628         | Ⅲ        |
|      |            |                | 9-13       | YU-10024 | 349±20                      | 1560-1640(59.0%)                     | 1522         |          |
| 堀5   | 棟束又へ柱      | 芯持瓜剥マツ         | 1-5        | YU-10025 | 326±20                      | 1495-1605(75.8%)<br>1610-1641(19.7%) | —            | Ⅲ        |
|      |            |                | ヘ三         | YU-10026 | 324±20                      | 1494-1602(75.8%)<br>1609-1640(19.6%) | —            |          |
| 堀9   | 柱ち七        | 芯持材ヒノキ         | 1-5        | YU-10031 | 310±20                      | 1522-1595(74.4%)                     | 1539         | Ⅱ or Ⅲ   |
|      |            |                | 8-12       | YU-10032 | 303±20                      | 1628-1647(21.0%)                     | 1638         |          |
|      |            |                | 16-20      | YU-10033 | 341±20                      |                                      |              |          |
| 堀10  | 小屋裏柱へ四     | 四ツ割材ヒノキ        | 1-5        | YU-12915 | 313±20                      | 1560-1592(95.4%)                     | 1571         | Ⅱ        |
|      |            |                | 21-25      | YU-12916 | 267±20                      |                                      |              |          |
|      |            |                | 39-43      | YU-12917 | 271±20                      |                                      |              |          |
| 堀11  | 柱は四        | 四ツ割材ヒノキ        | 1-5        | YU-12918 | 269±20                      | 1530-1561(30.6%)                     | 1649         | Ⅱ or Ⅲ   |
|      |            |                | 21-25      | YU-12919 | 317±20                      | 1638-1663(64.8%)                     | 1549         |          |
|      |            |                | 54-58      | YU-12920 | 363±20                      |                                      |              |          |
| 堀7   | 柱へ四南面      | ヒノキ            | 1          | YU-10027 | 334±20                      | 1483-1532(29.0%)<br>1536-1637(67.1%) | —            | —        |
|      |            |                | 1-5        | YU-12921 | 280±20                      | 1534-1570(47.5%)                     | 1649         |          |
| 堀12  | 柱へ四東面      | ヒノキ            | 12-16      | YU-12922 | 282±20                      | 1636-1662(47.9%)                     | 1550         | Ⅱ        |
|      |            |                | 1          | YU-13511 | 364±20                      |                                      |              |          |
| 堀13  | 根継柱は四      | 芯持材ヒノキ         | 21         | YU-13512 | 368±20                      |                                      |              | Ⅰ<br>二階建 |
|      |            |                | 35         | YU-13513 | 347±20                      | 1503-1522(95.4%)                     | 1513         |          |
|      |            |                | 50         | YU-13514 | 395±20                      |                                      |              |          |
|      |            |                | 69         | YU-13515 | 450±20                      |                                      |              |          |
|      |            |                | 1          | YU-14848 | 328±20                      | 1502-1545(41.9%)                     |              |          |
| 堀14  | 天井根太受は四〜は六 | 四ツ割材マツ         | 11-15      | YU-14849 | 351±25                      | 1547-1555(1.8%)<br>1572-1576(0.8%)   | 1629         | Ⅲ        |
|      |            |                | 29-33      | YU-14850 | 352±20                      | 1581-1642(50.9%)                     |              |          |
|      |            |                | 1-5        | YU-14851 | 301±20                      |                                      |              |          |
| 堀15  | 切断柱は五      | 四方柱ヒノキ         | 31-35      | YU-14852 | 323±20                      | 1530-1586(95.4%)                     | 1553         | Ⅱ        |
|      |            |                | 74-78      | YU-14853 | 379±20                      |                                      |              |          |
|      |            |                | 1-5        | YU-14854 | 363±20                      |                                      |              |          |
| 堀16  | 柱は六        | 四方柱ヒノキ         | 61-67      | YU-14855 | 369±20                      | 1609-1638(95.4%)                     | 1626         | Ⅲ        |
|      |            |                | 148-152    | YU-14856 | 353±20                      |                                      |              |          |
|      |            |                | 1-5        | YU-14857 | 405±20                      |                                      |              |          |
| 堀17  | 中二階床板      | 板目板マツ          | 11-15      | YU-14858 | 441±20                      | 1453-1475(95.4%)                     | 1466         | Ⅰ        |
|      |            |                | 21-25      | YU-14859 | 440±20                      |                                      |              |          |
|      |            |                | 1-5        | YU-14860 | 311±20                      | 1524-1602(90.4%)                     |              |          |
| 堀18  | 梁ろ二〜ろ七     | 太鼓落しヒノキ        | 21-25      | YU-14861 | 304±21                      | 1632-1636(0.7%)                      | 1551         | Ⅱ        |
|      |            |                | 30-34      | YU-14862 | 342±20                      | 1636-1649(4.3%)                      |              |          |
|      |            |                | 1-5        | YU-14973 | 344±20                      | 1561-1637(95.4%)                     | 1591         |          |
| 堀19  | 柱に五        | 不明ヒノキ          | 65-69      | YU-14975 | 326±20                      |                                      |              | Ⅱ        |



図1 資料写真および堀家住宅平面解体番付

従来の年輪年代法は、標準年輪曲線の整備された樹種に限られ、必要な年輪数も100年以上であったため、適用可能な資料は限定的であった。一方で、酸素同位体比年輪年代法は、ひとつの標準年輪曲線で理論上あらゆる樹種の年代決定が可能であり、必要な年輪数も30-50年程度のため、適用範囲が飛躍的に拡大した。堀家の部材は年輪数の少ない資料がほとんどであったが、そのなかで比較的年輪数の多い堀13(根継柱ほ四)部材に酸素同位体比年輪年代法を適用した。

試料から72年輪が確認された。樹皮、辺材は確認されなかった。板ごとセルロース抽出法(Kagawa et al. 2015)によってセルロース板を作成し、1年輪単位で切り出して、酸素同位体比分析を行った。得られた酸素同位体比時系列データを中部・近畿版標準年輪曲線(Nakatsuka et al. 2020)とクロスデーティングし、暦年代を求めた。

また、セルロース板から5点の年輪をピックアップし、AMS法で炭素14年代を得た。各年輪の炭素14年代をIntCal20(Reimer et al. 2020)に対してウィグルマッチングし、校正暦年代を求めた。

酸素同位体比年代法クロスデーティングの結果、最外年輪の暦年代はAD1518と求められた(図2)。

#### 4. 部材年代

$^{14}\text{C}$ 年代調査の結果から、堀家部材の年代は3期に分かれることが判明した。1期は16世紀前半の堀2、堀13、堀17で、前身建物の転用古材である。2期は1550~70年頃の堀3、堀6、堀7、堀9、堀10、堀11、堀12、堀15、堀18で、今回調査した当初材はこの年代の部材が最も多い。現存堀家住宅当初材である。Ⅲ期は1620~40年頃の堀1、堀4、堀5、堀14、堀16、堀19で、二階建て当初建物を平屋の茅葺入母屋に改造した際の後補材である。

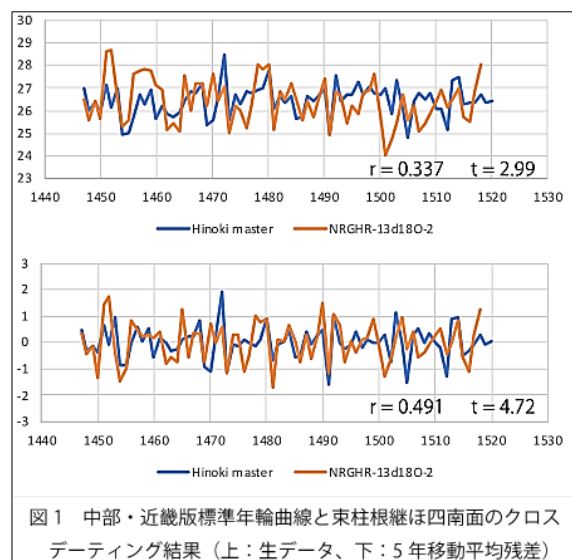


図2 堀13のクロスデーティング

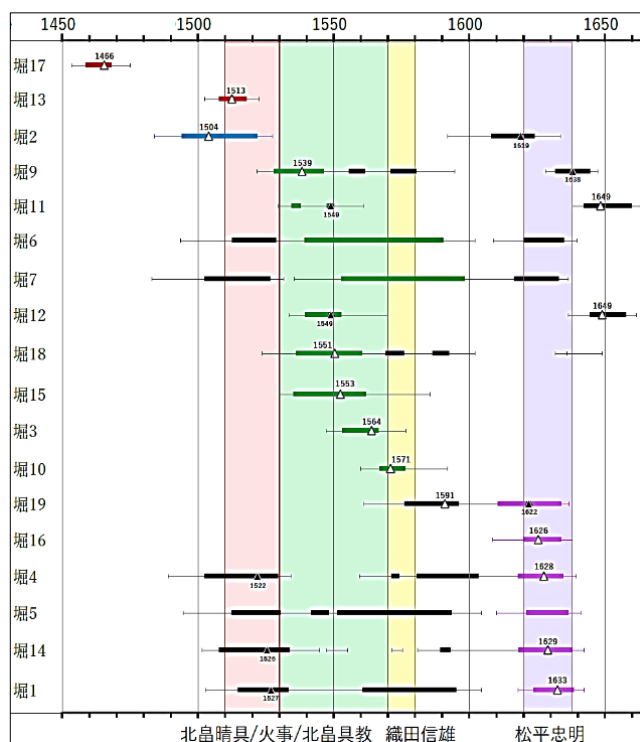


図3 堀家部材の年代一覧(Multi Plot)

#### 5. 地下調査による屋敷地の変遷

地下調査で現状の地表より約30cm下に旧地表面の層が確認された。Ⅰ期(当初)の屋敷地は「は通~C通」(緑色)である。Ⅰ期の終わりに火災(黄色・茶色)があり、焼けた木片・壁土・竹と小石の混じった焼土が大きな方形の穴(茶色)に埋められていた。Ⅱ期は、火災後に30cmの盛土・整地をして屋敷地を広げた(桃色)。Ⅲ期は現状の屋敷地(水色)である。以上屋敷地変遷を整理すると、Ⅰ期：屋敷地旧地表面「は通~C通」、Ⅱ期：火災・屋敷地を30cmかさ上げ拡大「い通~る通」、Ⅲ期：南側を整地(江戸時代前期)となる(図4)。

I期の遺構は、表面加工された礎石（赤色）が検出された。近世農民（民家）とは異なる階級の建物だった可能性が高い。礎石間隔 2.3m を基準寸法と仮定し、東西約 3 グリッド、南北 4 グリッドを礎石建物（前身建物）の底地とすると、この礎石建前身建物の規模は 3 間×5 間程度となる。これらの礎石や葛石は火災の影響を受けていないので、火災より前の時代の遺構と考えられる。

火災遺構は 2 本の焼け残った柱根と根石が検出された。付属的な掘立柱建物に火災があったと思われる。

II期の建物はほぼ現状と同一規模で、床上部は二階建て、土間部は平屋建ての切妻屋根、表側に間口三間の 12 畳間を持つ当初平面が推定された（修理工事報告書 p.4）。

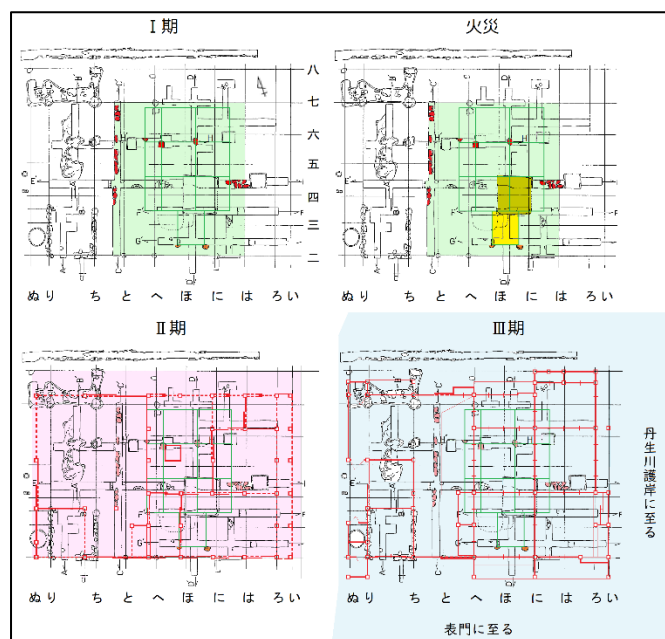


図 4 堀家敷地変遷図

## 6. 扱き柱（コキバシラ）

中二階の小屋束（元扱き柱）の痕跡から、元は二階柱あるいは扱きのある通し柱だったこと、茅葺平屋建てに改造された際に二階柱・通し柱の上部を切断し、ホゾを刻んで小屋束として使用されたことが判明した。

「に四」柱は扱き柱で床高 2,360mm を境として下部は 142mm 角、上部は 121mm 角である。「ろ七」「に七」「ほ七」の束も元は扱き柱だったことが分かっている。扱き柱は、柱穴をあけた落とし込み梁を扱き柱に落とし込み、柱どうしを繋ぐ落とし込み工法の柱である。

民家は平屋建てのため、堀家のような二階床梁の落とし込みは類例が無い。一方、二階床梁の落とし込み工法は金閣（鹿苑寺舍利殿）に用いられている<sup>2</sup>。金閣は一・二階の通し柱が扱き柱である。金閣の扱き柱は下部（一階）が六寸角、上部（二階）が五寸角で、堀家の扱き柱よりもひと廻り大きい。周囲 16 本の柱が全て扱き柱である。扱き柱による落とし込み構造のため、一階（法水院）と二階（潮音洞）は同じ広さ・同じ柱位置である。三階（究竟頂）は柱筋も異なる別構造で二階軸組に載っている。

金閣の落とし込み工法と同様、堀家の扱き柱も二階床を支える落とし込み構造であったと考えられる。堀家の扱き柱の寸法はちょうど金閣の扱き柱のおよそ 80% であることも注目される。堀家前身建物は、二階柱と胴梁と扱き柱を用いた二階建て建物であったことが判明した。

## 7. 立地と景観

防災的に不適切な、丹生川と宮谷川の合流点の低地に堀家住宅の建つ理由は何か？

堀家住宅の襖絵は丹生川からの景観が描かれ、「賀名生古行宮真趣 庚戌春日敬寫前景」と記されている。古行宮のイメージを投影する景観こそ、堀家住宅がこの位置でなければならない理由だった。さらに、この位置からの堀家住宅の背後山中に北畠親房墓所の赤い鳥居が遠望できる（図 5）。これより、丹生川の景観は浄土庭園、堀家前身建物は庭園建築と考えられる。堀家の扱き柱が金閣の扱き柱と相似形であることや、堀家前身建物が二階建て以上であること、屋根勾配は緩く檜皮葺か柿葺き（修理工事報告書）などから、堀家前身建物が金閣と共通性を持つ建物だったことが窺える。

堀家の扱き柱、平面規模、二階棟高はいずれも金閣の約 80% である。堀家前身建物は金閣の 80% のサイズで作られたと推定した。

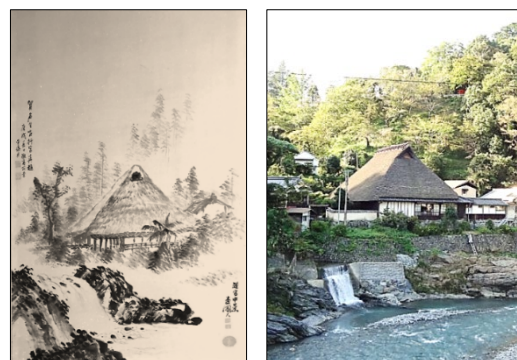


図 5  
左：  
堀家襖絵  
右：  
東側景観

## 8. 前身庫裏建物 華蔵院

堀 2（梁ぬ又三～ぬ七）は土間の部材で、16 世紀前半、1 期前身建物の年代を示している。ところが 1 期は屋敷地が狭く、土間部分は存在しない。すなわちこの部材は現在の敷地ではないところに建てられていた建物の一部で、火災後現在の位置に移築され、再建二階建て建物と接続されたと考えられる。その前身土間部建物は、①勾配が緩く杉皮葺きあるいは板葺きの切妻屋根 ②当初の架構がほぼ残っているとされる屋内土間の大きい間取り。③特徴ある差物架構。堀家前身土間部建物の差物架構は、13 世紀の重要文化財東大寺大湯屋や 14 世紀の東大寺法華堂手水屋など中世寺院付属屋の初期差物架構と、16 世紀末の重要文化財黄梅院庫裏や 17 世紀の禅宗寺院庫裏の成熟期差物架構の間に時期的に位置する。

堀家住宅当初復原の妻入口上部に舟肘木が残されていた。妻入面に舟肘木が装飾として用いられる建物といえ

ば、近世禅宗寺院の庫裏である。堀家住宅前身土間建物は切妻妻入の庫裏建物であった可能性が高い。かつて山側に「華蔵院（けぞういん）」という庵を営んでいたと堀家に伝承が伝わっている。前身庫裏建物はこの華蔵院だったと考えられる。

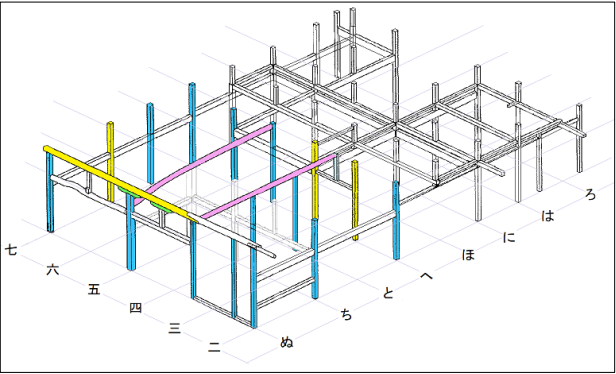


図6 堀家住宅軸部架構図 黄色：年代調査部材

### 9. 堀家住宅の変遷

痕跡による建物変遷、年代調査による部材年代、発掘による遺構により、堀家住宅の画期と変遷が推定できた。

【賀名生の小金閣】16世紀前半

丹生川沿いに二階建て礎石建物（前身建物）。山側に平屋建切妻妻入の庫裏華蔵院。

【火災】掘立柱付属屋が火災。前身建物も一部被災。

【小金閣＋華蔵院庫裏＝合体建物】16世紀末期

屋敷地を拡大。二階建て礎石建物の部材を再利用し、庫裏建物と合体、床上二階建て土間部一階建て当初建物）。

【幕領化】郡山藩、1619～39年、松平忠明（家康外孫）

【入母屋茅葺の江戸時代庄屋民家】

17世紀前半： 在地上層農民の住居形態に改められる。  
主屋は二階建て部分の柱を切り縮め平屋建てとし、土間部を含めた茅葺入母屋の大屋根を架けた。平側に主出入口、南側に門を建設。

### 10. 前身「賀名生の小金閣」の背景

伊勢の戦国大名北畠晴具の天文年間（1532-1555年）大和侵攻は、北畠親房を祀る堀家にとって大きな画期となった。北畠親房の墓所を守り祀る住坊華蔵院を営む修験堀家と北畠氏が北畠親房顕彰および南朝追慕の大プロジェクトとして、賀名生の小金閣を建築し、日の丸の旗など由緒の品を制作したと考えられる。天正期に織田信雄が北畠氏を乗っ取り、北畠氏の権威は織田氏にとっても価値が高かったことから「賀名生の小金閣＋華蔵院庫裏＝合体建物」は維持された。

江戸時代になり、徳川幕府の在地支配のもと、家康の外孫松平忠明が郡山藩藩主となり、堀家住宅は庄屋住居にふさわしい入母屋茅葺民家に改造された。

### 謝辞

重要文化財堀家住宅当主堀丈太様、レストラン KANAU スタッフの皆様、山形大学高感度加速器分析センター理学部教授門叶冬樹先生、元奈良県教育委員会文化財保存事務所主幹吉井博様、京都女子大学鶴岡典慶先生、京都大学横山操先生、京都大学高谷光先生、近畿大学南武志先生、京都大学筒井忠仁先生、名古屋大学中塚武先生、李貞様、五條市教育委員会山本望美様、賀名生の里歴史民俗資料館鍵本理恵様、京都府教育庁指導部文化財保護課様に感謝申し上げます。

### 注

- 1 坂本稔「表計算ソフトによる炭素14年代校正プログラム RHC バージョン4」国立歴史民俗博物館研究報告176, pp.169-176, 2012.
- 2 堀家住宅解体修理工事監督奈良県教育委員会吉井博主幹（当時）のご教示による。最近の金閣屋根葺き替え工事でも扱き柱が確認されている。（野々部万美恵、特別史跡特別名勝鹿苑寺舍利殿（金閣）屋根葺き替え工事について、建築研究協会誌 第35号、pp.9-23、2021.10

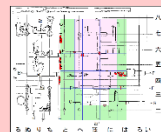
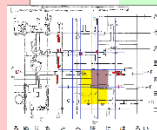
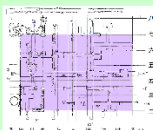
| 変遷      | I期 16世紀前半 北畠晴具の大和侵攻                                                                                                 | 火災                                                                                                                   | II期 16世紀後半                                                                                           | 郡山藩                 | III期 1619年 譜代大名松平忠明(家康外孫)                                                                                |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 堀家の立ち位置 | 北畠親房の顕彰<br>地侍、修験、在地有力者                                                                                              |                                                                                                                      | 北畠家親房の顕彰<br>地侍、修験、在地有力者                                                                              |                     | 江戸幕藩体制下の庄屋                                                                                               |
| 建物      | 二階建（一部三階）庭園建築<br><br>鹿苑寺金閣を参考に作成 | 別の場所に庫裏建物（華蔵院）<br><br>鹿苑寺庫裏を参考に作成 | 二階建物<br>一部被災<br> | 二階建て建物と土間部建物を合体、杉皮葺 | 平屋建て茅葺入母屋に改造、表門<br> |
| 敷地      | は通～と通<br>                        | 火災<br>                            | 屋敷地拡大 い通～る通<br>   |                     | い通～る通<br>            |

図7 堀家住宅の変遷 建物、敷地、政治背景

# 公益財団法人松井角平記念財団 2019 年度助成研究 研究報告（概要） 「桂離宮御殿群修理の研究－戦後昭和期の文化財修理理念の発展－」

研究代表者 平賀あまな（東京工業大学 環境・社会理工学院 特任准教授）  
研究助成期間 2020 年 4 月 1 日～2022 年 3 月 31 日

## 1. はじめに

桂離宮御殿整備工事(昭和 51～56 年度、以下、「整備工事」)は、創建以降初めての全解体を伴う修理であり、日本を代表する芸術作品の修理として当時注目を集めたことが知られているが、修理の概要が示されるのみで、修理方針の策定過程や手法の実態に関する研究はこれまでなされてこなかった。本研究は、資料として、『桂離宮御殿整備記録』<sup>1)</sup>（以下、『整備記録』）と、桂離宮御殿群修理に際して、文化庁文化財保護部建造物課から宮内庁京都事務所に出向し、文化財修復の専門家として工事の設計監理や技術指導を担当し、建築史的調査も行った斎藤英俊博士（現・京都女子大学客員教授）の所蔵史料を用い、整備工事の実態を明らかにすることを目的とする。斎藤資料は、専門家との協議内容を含む委員会等記録及び書類や図面、施工写真等、整備工事に関わる一次資料であり、修理体制の構築過程、基本方針の策定経緯、専門家の意見とそれらがどのように修理に反映されたか、さらには具体的な実施工法の詳細を知ることができる。



図 1. 桂離宮御殿外観（「斎藤資料」より）

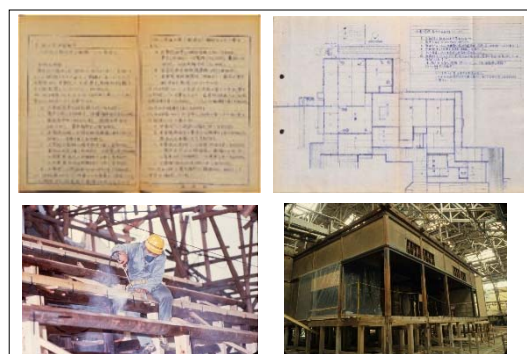


図 2. 「斎藤資料」の例（議事録、図面、写真）

## 2. 桂離宮御殿整備工事の概要

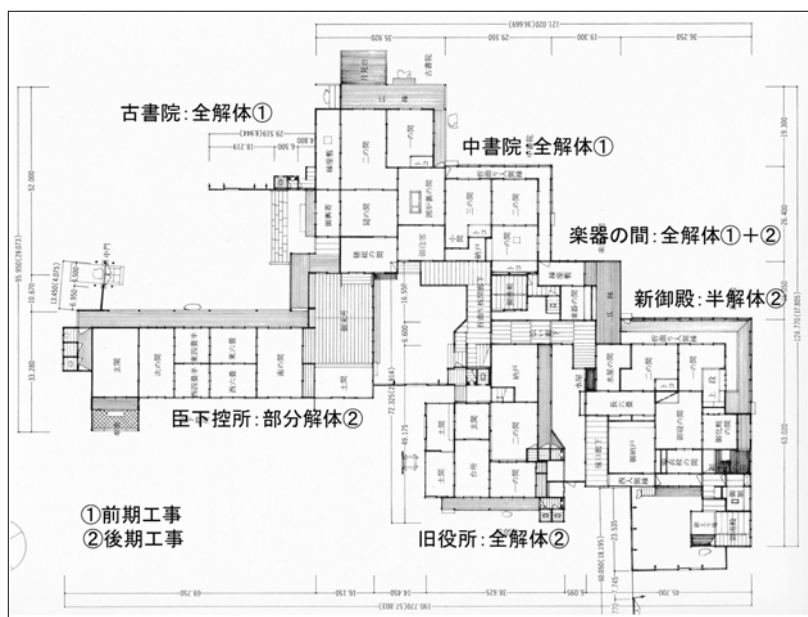


図 3. 桂離宮御殿整備工事における前期工事、後期工事の区分

桂離宮御殿整備工事は、宮内庁京都事務所が調査・設計・監理を行った。前期工事として、昭和 51～54 年に古書院、中書院、楽器の間の全解体修理を行い、後期修理として、昭和 54～57 年に新御殿、臣下控所の半解体修理と旧役所の全解体修理を行った。桂離宮御殿は、明治 16 年の宮内省移管後、明治 21 年から 32 年にかけて「明治の大修理」と呼ばれる御殿群の全面的修理と附属建物の整理撤却が行われ、その後も整備工事までに屋根葺き替え等の部分修理が行われたが、全解体修理が行われたことはなく、整備工事は創建以降初めての全解体を伴う

修理であった。その為に、整備工事は桂離宮御殿の維持を主な目的とするほか、不明とされていた桂離宮御殿の造営年代や各建物の創建の経緯など桂離宮御殿及び桂離宮の造営過程を知ることができる機会として、文化財建造物分野だけでなく建築史の観点からも注目を集めた。

3. 文化財建造物修理としての修理体制の構築と修理方針の決定過程

宮内庁では整備工事に先立ち、昭和 48～50 年度に「桂離宮御殿基本調査事業」(以下、「調査事業」)を実施した。調査事業では、法隆寺金堂修理(昭和 9～29 年)等の指導を行った村田治郎京都大学名誉教授(所属・肩書は当時、以下同じ)と、初代文化財保護委員会事務局保存部建造物課長を務めた関野克東京国立文化財研究所(以下、「東文研」)所長を顧問とし、鈴木嘉吉奈良国立文化財研究所(以下、「奈文研」)建造物研究室長を技術指導とする「小委員会」を設置し、調査及び基本方針の策定を行った。このことは、桂離宮は文化財保護法による指定文化財ではないものの、宮内庁では「文化財保存に対する一般の関心が高まっている」<sup>2)</sup>と認識したことによるものであった。

第 1 回小委員会では、「現状を尊重し、今後の保存に重点をおき、基本的には現状変更は考えない」<sup>3)</sup>とする宮内庁の方針が説明された。具体的な事項としては、広縁の縁板を含めた化粧古材は原則として再用すること、土壁の年代を特定し古壁を保存すること、合成樹脂を応用すること、が検討課題となった<sup>4)</sup>。小委員会での議論を踏まえ、調査事業では破損調査等の文化財建造物修理に際しての基本調査に加え、東文研、奈文研の主導により、文化財建造物修理に応用されたばかりの X 線撮影調査や生物被害調査等の保存科学的調査が行われた。土壁については日本壁研究の第一人者である山田幸一関西大学教授の技術指導のもと、年代特定や技法の解明が行われるなど、各分野の専門家が携わった。これらの調査をもとに、解体を伴う修理が計画され、昭和 49 年 6 月に「桂離宮御殿修理調査報告書」、昭和 50 年 4 月に「桂離宮御殿修理・整備計画案」がまとめられ、合成樹脂の使用や古壁の大ばらし等の新技術の導入が提案された。修理前調査の時点から、文化財専門家の指導による詳細な調査を行い、当時最先端の技術の導入が検討されたことが明らかになった。

宮内庁では、修理計画を諮るための専門家による懇談会設置が検討された。宮内庁は当初、「一般の建築専門家並びに文化人(有識者)からも、広く意見を徴」するとしたが、関野の助言により、建築や庭園の専門家を中心とすることとし、表 1 に示す委員による「桂離宮整備懇談会」(以下、「懇談会」)が構成された。委員 16 名のうち、谷口吉郎は文化庁文化財保護審議会(現在の文化審議会文化財分科会)の委員、7 名は同第二専門調査会(建造物担当)専門委員であり、さらに、文化庁建造物課長伊藤延男と、後に建造物課長を務める鈴木と工藤圭章も委員として加わっている。したがって、この当時の日本の文化財建造物の保護行政や保存・修理の方針に大きな影響力をもつ専門家によって構成されていたといえる。宮内庁は懇談会を修理開始前の 1 回のみ開催することとしていたが、鈴木らの助言により修理工事期間を通じて年 1 回開催することが原則となり、懇談会は整備工事に直接関与することが可能な体制となった。

設計監理、調査は宮内庁京都事務所工務課と林園課が当たり、工務課に臨時桂離宮御殿整備係が

表 1 桂離宮整備懇談会委員(所属は委嘱時)

|       |                       |       |                        |
|-------|-----------------------|-------|------------------------|
| 浅野清   | 愛知工業大学教授              | 谷口吉郎  | 東京工業大学名誉教授             |
| 伊藤延男  | 文化庁建造物課長              | 土居次義  | 京都工芸繊維大学名誉教授           |
| 大岡実   | 日本大学教授                | 中村昌生  | 京都工芸繊維大学教授             |
| 岡崎文彬  | 京都大学名誉教授              | 福山敏男  | 西日本工業大学教授              |
| 工藤圭章  | 文化庁建造物課               | 藤岡通夫  | 日本工業大学長                |
| 鈴木嘉吉  | 奈良国立文化財研究所<br>建造物研究室長 | 藤島亥治郎 | 東京大学名誉教授               |
| 関野克   | 東京国立文化財研究所長           | 村田治郎  | 京都大学名誉教授               |
| 関口鉄太郎 | 京都大学名誉教授              | 森  蘊  | 元奈良国立文化財研究所<br>建造物研究室長 |

表 2 桂離宮御殿整備工事の基本方針(『桂離宮御殿整備記録本文編』より)

|                                                                                                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ①建物の歴史的沿革を尊重し、解体によって旧規が判明した場合でも原則として旧規に復さず、現状の外観を大切に維持し、保存する。                                      |
| ②美しいとされる現状は永い間の風雪に耐えた人為でない要因に負うところが多いことを重視し用材は極力生かして再利用することとする。そのために必要な補強を加え、全体として耐久度を増大させるように努める。 |
| ③建物と庭園との調和を損なわないようにし、御殿廻りにある飛石、畳石、沓脱石及び階段石等庭石類は現状を保つようにする。                                         |
| ④江戸期の古い壁を生かして保存するため、大ばらし工法により解体し、補強を加えたうえ再用する。                                                     |
| ⑤合成樹脂の併用による根継ぎ、埋木、補強、古色付け、模刻等を行う。                                                                  |
| ⑥ワイヤー、ボルト、火打、筋違、その他補強材を用いて構造上の強化を図る。                                                               |
| ⑦学識経験者の指導を受けて、工事全般にわたって慎重を期する。                                                                     |

置かれた。技術指導体制は懇談会の他、村田、関野、鈴木、工藤による小委員会を設置し、専門的な指導を行うとともに、必要に応じて各種工事に関わる専門家・研究者による技術指導の場が設けられた。施工体制は工事技術と現場監理の困難さが小委員会で指摘され、大手建設会社への一括発注を採用し、その下に木造建築の施工や修理経験が豊富な専門業者、職人を配する形となった。

御殿整備の基本方針として、『整備記録』には表2の7項目が示されている。これらの項目の策定経緯について、調査事業と古書院・中書院の解体が完了し、基本的な施工方針が議論された第4回懇談会までの記述を分析したところ、初めて施工方針が議題となったのは昭和52年6月の第4回懇談会であることが確認できた。配布資料のうち「御殿整備の施工方針」に、(1)整備にあたっては、建物と庭苑との一体の姿を損なわないようにする、(2)修理の方針としては、現状をなるべく変更しないことを原則とする、(3)材料は、極力旧材を再用し、これを補修して使用しながら建物としての耐久性を増大することに努めるものとする、の3つの方針が示された。この施工方針は、(1)が基本方針③に、(2)が同①に、(3)が同②に該当する。

施工方針(1)は、第1回懇談会で「茶室などの小さい建物も含んだ桂離宮全体について考えたい」とする意見が村田、藤島亥治郎から出たことが反映されたと考えられる。また、第5回小委員会で、鈴木は素屋根を鉄骨造にすると基礎が庭石に影響するため、影響の出ない木構造にすべきであるとするなど、庭園への影響への配慮がみられる。施工方針(2)(3)は調査事業から示されていた方針である。(2)については、第3回小委員会、第3回懇談会で関野、村田が「現状を変更しないと云うのが宮内庁の方針である」旨を述べており、(3)については、第1回懇談会で藤島が「出来るだけ古材を使うそうで結構」と発言したことや、第5回小委員会で宮内庁側が古材の扱いを質問し、鈴木は「できるだけ補強して使う方がよい」と答えており、文化財専門家の主導であることから、施工方針には宮内庁と文化財専門家の議論の結果が反映されたと考えられる。

第4回懇談会以降には、基本方針に関する議論がみられないため、「御殿整備の施工方針」が整備工事を通じた主要な修理方針であったと考えられる。(1)から(3)で示されていない基本方針④⑤⑥については、施工方針(3)の具体的な手法であると考えられる。基本方針⑦は、学術的な指導に関する方針であり、前述の経緯により実現していた。

#### 4. 部材の保存と新技術の導入

古材を可能な限り再用することは、文化財建造物修理の基本的な考え方であるが、整備工事では土壁や風化した縁板等、文化財建造物修理においてさえ、塗替えや取替えが一般的な箇所についても保存することが方針となっていた。そのため、継木・埋木等の伝統的修理技術を用いたうえで、基本方針④⑤⑥に示された先進的技術を併用することが定められた。

基本方針④に示された土壁の大ばらしについては、整備工事以前は如庵等の小規模な茶室建築で行われた事例が中心であった。整備工事は大規模建築への初めての導入事例であり、懇談会では2、3面のみを対象とすることが提案されたが、施工を行う過程で中書院の小壁を中心とする14面の当初壁全てが再用され、当時における最大規模の大ばらしとなった。施工上の課題として、小壁の大ばらしの際に壁の支持方法が問題となり、梁・桁から受木を吊り、受木から金具で壁上端を吊る新しい手法が考案された。また、2間以上の小壁中心部では、梁・桁から金物で壁下の鴨居を吊る手法が採用され、吊り金物によるクラック等の損傷に備え、ステンレス製スリーブに丸鋼を通す工法が考案された。大地震の際は構造に問題があることを鈴木は懸念していたが<sup>5)</sup>、兵庫県南部地震で震度5の揺れを受けた際もクラック等の被害は生じなかった。土壁の大ばらし技術の確立は、非破壊調査による土壁の年代判別、土壁

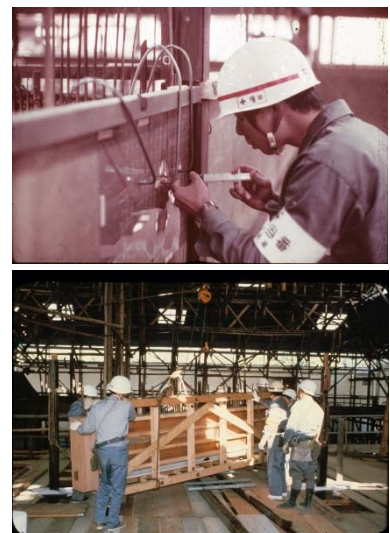


図4. 中書院土壁の大ばらし  
(樹脂注入による点接着、養生後の運び出しの様子)「斎藤資料」より

内部の構造解明、合成樹脂の使用、ステンレス鋼を用いた構造補強の採用により実現したものであり、文化財建造物の解体修理において土壁の再を用を可能とする新しい技術として注目された。

基本方針⑤に示された合成樹脂の使用については、整備工事以前に建造物全体に合成樹脂を使用した修理工事は法隆寺羅漢堂と如庵のみで、いずれも東文研が技術指導を行った事例であった。整備工事における合成樹脂の選択の経緯について、斎藤資料に含まれる東文研の指示書や懇談会及び小委員会の議事録、会議資料により分析した。整備工事で用いられた合成樹脂は、大きな充填や人工木材としてはガラスマイクロバルーン混入のエポキシ樹脂であるアラルダイト XN1023 が、小規模な充填にはより流動性のあるチオコール変性エポキシ樹脂であるペンギンセメント 7834 が用いられた。これらは整備工事以前に修理工事での使用がみられないが、フィラーであるガラスマイクロバルーンは従来使用されていたフェノールマイクロバルーンよりも耐候性に優れるとされ、採用されたものと考えられる。古書院縁板の補強に用いられたフェノール変性レゾルシノール樹脂は、集成材製作で用いられる樹脂であり、従来の文化財建造物修理の範疇を超えた選択がなされている<sup>6)</sup>。基本的に整備工事で用いられた合成樹脂は、初めて文化財建造物修理に応用されたものが中心であり、最新技術の導入に対する積極的な姿勢が窺える。さらに、柱の根継に関しては芋根継と合成樹脂接着を併用した新たな手法を開発することによって、見え掛りを避けた根継ぎを可能とするなど、新技術を併用することによる利点を発揮している。

合成樹脂使用の方針は、「構造材及び陽光を受ける材は木材による補修を原則とし、腐朽の程度によって合成樹脂による補修を行った」と『整備記録』に記述されている。使用方針の決定の過程での懇談会の議論から、古材を再用する目的での合成樹脂使用は関野の主導であると考えられるが<sup>7)</sup>、第 4 回小委員会で「合成樹脂をはっきりうたうのはよくない」とするなど慎重な態度も見られた。

合成樹脂の使用にあたっては、東文研の研究者が施工者に直接現地指導等を行い、合成樹脂の使用方法を徹底することに努めていた。しかし、後期工事前には懇談会委員兼小委員会委員の鈴木が「始め考えていた時よりも樹脂の使用量が多い」ことを指摘し、「(目割れした) 材料に樹脂で埋めていたが、これは必要ない」と具体的な使用箇所や使用量についても提言している。

また、前期工事では合成樹脂補修部分を古色付けした部分に白華現象がみられたことが問題となった。原因を明らかにするために実験が行われ、模刻していない面には白華現象が生じていないと判断し、アラルダイト XN1023 に混入されているガラスマイクロバルーンが彫刻刀により破壊されていたことが原因であると考えられた。そのため、後期工事では、模刻でガラスマイクロバルーンのかすの除去を徹底すること、古色付けに使用していたリカレジン ST-001 を塩化ビニル系塗料に変更するなどの仕様変更を行うなど、合成樹脂の使用における試行錯誤の様子が窺える。

基本方針⑥に示された構造補強については、技術指導を行った金多潔京都大学教授が、当初の構造を重視し補強材は目立たせないこと、補強材は容易に撤去できること、当初の架構の荷重の伝達経路を大幅に変更しないこと<sup>8)</sup>という方針を示していたことが知られ、このような方針は昭和の法隆寺修理以降に構造専門家によって表明されたものであったと考えられる<sup>9)</sup>。構造補強の手法としては、主に見え隠れである床組と小屋組部分を中心に補強材が入れられた。金物の使用については、部材の損傷を減らすため、ボルトではなくできる限り鋸を用いることが指示され、特注の箱型金物を開発するなどの工夫が見られた。

これらの部材の保存のための先進的技術の導入においては、いずれも実際の手法の選択に懇談会や専門家からの詳細な指導を受けていたこと、新技術の導入期ならではの試行錯誤が見られること、最新技術の考案や応用が行われたことが明らかになった。



図 5. 合成樹脂の使用  
(部材の充填、開発された新しい根継)「斎藤資料」より

## 5. 桂離宮御殿整備工事での現状変更の特徴

整備工事は現状をなるべく変更しないとする基本方針の下で実施されたが、「それぞれの理由で現状変更を行った箇所」として 64 か所が『整備記録』に記載されている。記述内容から、まず維持を目的とした現状変更（22 か所）と復原に伴う現状変更（42 か所）に分類した。維持を目的とした現状変更は、屋根や基礎部分での雨仕舞や湿気対策、床組や小屋組における構造補強、旧役所・臣下控所の管理上の変更であった。復原に伴う現状変更を内容ごとに 31 項目にまとめたものを表 3 に示す。

表 3 復原に伴う現状変更  
(『桂離宮御殿整備記録本文編』記載の 42 か所を内容ごとにまとめた 31 項目)

|          | 変更内容                                                                    | 改修年代   | 復原年代     | 議論 |
|----------|-------------------------------------------------------------------------|--------|----------|----|
| 基礎・床組    | 新御殿の床下の旧排水施設を露出                                                         | 不明     | 当初       |    |
|          | 新御殿床組の足固め貫及び大引受けを復旧整備                                                   | 明治修理時  | 当初       | ○  |
| 床        | 古書院、中書院、新御殿の畳の敷方を明治の古図に倣い復旧                                             | 明治修理以降 | 明治21~24年 | ○  |
|          | 古書院「縁座敷」の炉は畳切りをして現わした                                                   | 明治修理以降 | 江戸       | ○  |
|          | 楽器の間の「御廁」及び「廁廊下」の薄縁を明治の古図に倣い板敷に復旧した                                     | 明治修理以降 | 明治21~24年 | ○  |
|          | 旧役所の一階は畳敷きを止めて、荒床板を化粧張りとした                                              | 明治修理以降 | 明治21~24年 |    |
| 壁        | 古書院、中書院「御湯殿」「折曲り板間廊下」、楽器の間及び「伝い廊下」、新御殿、臣下控所、高堀の土壁上塗りの大阪土壁は「大阪土切返し塗り」に統一 | 明治修理以降 | 当初       | ○  |
|          | 新御殿、臣下控所の漆喰壁は「ばらり塗り」に統一                                                 | 明治修理以降 | 明治修理以前   | ○  |
|          | 旧役所の室内の土壁上塗り仕上げを「中塗土切返し塗り」とした                                           | 不明     | 当初       |    |
|          | 中書院「納戸」壁に腰板を撤去して腰貼りを現す                                                  | 不明     | 不明       |    |
|          | 新御殿南外壁の腰板を撤去                                                            | 大正9年   | —        |    |
|          | 旧役所「土間」北側妻面の壁を真壁造から大壁造へ復旧                                               | 明治31年  | 当初       |    |
| 壁紙       | 古書院、楽器の間、新御殿の唐紙の桐紋を復原                                                   | 明治以降   | 当初       | ○  |
|          | 古書院「御役席」の壁紙貼りを復旧                                                        | 不明     | 江戸       |    |
|          | 新御殿「御衣紋の間」「長六畳」及び「御納戸」の障壁下地の変更で壁紙貼りを土壁に直貼りとする                           | 明治     | 江戸       |    |
| 柱間装置     | 旧役所「土間」中央間仕切装置を引込戸に復旧                                                   | 明治31年  | 当初       |    |
|          | 旧役所「土間」北面の窓を当初の位置に復旧                                                    | 明治31年  | 当初       |    |
| 造作材      | 古書院「膳組の間」の竿縁天井を撤去して化粧屋根裏を現す                                             | 明治26年  | 江戸       | ○  |
|          | 古書院の天井吊木を竹製とした                                                          | 不明     | 当初       | ○  |
|          | 楽器の間「伝い廊下」西窓の竹連子を板連子に復す                                                 | 不明     | 江戸       |    |
|          | 旧役所「土間」西側上の力天井を撤去し化粧屋根裏を現す                                              | 明治31年  | 当初       |    |
| 屋根・妻・小屋組 | 古書院、中書院、楽器の間、新御殿の柿葺屋根野地を木舞野地に復原                                         | 明治修理時  | 当初       |    |
|          | 古書院東妻の六葉を金箔押しに復原                                                        | 不明     | 当初       | ○  |
|          | 中書院の転用されていた当初母屋を旧位置に復す                                                  | 明治修理時  | 当初       | ○  |
|          | 中書院・楽器の間入隅の野垂木に転用されていた中書院当初の南西野隅木を旧位置に復す                                | 江戸     | 当初       | ○  |
|          | 楽器の間「縁座敷」上の南鬼瓦の菊紋を復旧                                                    | 戦後     | 当初       |    |
|          | 新御殿西側の小屋梁を復旧整備                                                          | 昭和39年  | 当初       |    |
|          | 旧役所二階南側に鋸庇を復原                                                           | 明治修理時  | 明治修理以前   |    |
| その他      | 中書院「板間廊下西廁」の便器を整備                                                       | 不明     | —        |    |
|          | 旧役所「南縁廁」及び「西縁廁」の便器を整備                                                   | 不明     | 明治以降     |    |
|          | 新御殿「西入側縁」西の落縁（竹簀子縁）に階段を復旧                                               | 不明     | 明治修理以前   |    |

※「改修年代」「復原年代」の「当初」は、古書院、中書院等、建物ごとの建立当初を意味する

※「復原年代」の「—」は、痕跡等からの類推によるもの



図 6. 唐紙の復旧（当初の技法による再現）「斎藤資料」より



図 7. 劣化していた古書院東妻懸魚の六葉の金箔押しの復旧（左・修理前、右・修理後）「斎藤資料」より

復原に伴う現状変更のうち、人為的に改変された意匠の復原に関しては、古書院「膳組の間」の天井部分の復原、古書院「縁座敷」と中書院「一の間」の炉の復原が懇談会で議論され、大岡が「明治頃に変えられたものは復原してもよいのではないかと」発言し、他の委員も同意している。一方で、古書院西妻懸魚等の江戸時代に変更されたことが判明した箇所については、基本的に懇談会において復原の議論は行われなかったことから、復原は明治修理時以降の改変部分に限定的に行われたといえる。なお、古書院土壁の筋違、小屋組や屋根野地等、明治修理時以降<sup>10)</sup>の変更で不都合が生じた部分については、痕跡等より明らかな当初の仕様の方が合理的であると判断され、復原されたこと、小屋組の当初材が転用されている場合は、史料保存の目的もあり旧位置に復したこと<sup>11)</sup>、といった異なる判断基準の復原もみられた。

また、復原に伴う現状変更部分には、人為的に施された改変・改造ではなく、長い年月の中で人為的な原因ではなくて変化した部分があり、それは、1)伝統技術の質の低下や変化が見られる部分、2)風化・劣化・損傷により当初の状態が損なわれている部分、の復旧を意図したものがあつた。

1)の事例としては、土壁を新規に塗替える場合の上塗りを江戸時代の仕様である「大阪土切返し塗り」としたものの、漆喰壁を明治以前の仕様である「ばらり壁」で塗り直したしたもの、があげられる。また、古書院、楽器の間、新御殿の唐紙について、当初の唐紙が下貼りから発見されたことから、第 8 回小委員会で「江戸時代の紋様の方が形がよい」との意見を受け、さらに、具引の程度や黄土と雲母の配合の比率など当初の技法を明らかにすることで、桐紋の形状とともに、雅やかな色彩の江戸時代の唐紙の特徴が再現され、新規に貼られたことが特徴的なものである。

2)としては、劣化していた古書院東妻懸魚の六葉の金箔押しの復旧が代表的な事例である。第 5 回懇談会で金箔押しの痕跡の発見が報告され、当初は庭園との調和の観点から金箔押しの復旧を行わない方針が示されたが、歴史的事実を示すことを重視する意見などの議論を経て、新規に当初の仕様で復旧される懸魚の六葉に金箔押しを復旧することが承認された。

整備工事で行われた解体に伴う詳細な学術調査では、各御殿の建立時期に加え、吟味された材料を高度な技術で加工して用いていたことや、王朝文化の雅を理想とした内部意匠の当初の姿が明らかになったことが知られている<sup>12)</sup>。整備工事では基本方針を尊重し、意図的な意匠の変更に關する復原は限定的に行われたが、伝統的技術の衰退や風蝕等の劣化に起因する当初の状態が損なわれた部分の復旧により、結果的には修理前には認識できなかった桂離宮の当初の「雅やかな姿」の一端が再現されることとなったと考えられる。

## 6. まとめ

以上の考察から、桂離宮御殿整備工事について下記のことを明らかにした。

桂離宮御殿整備工事の実施に際し、宮内庁では文化財保護に対する一般の関心が高まっていることを認識し、専門家の指導を受けることとしたこと、修理計画策定時点から文化財専門家の指導による詳細な調査を行ったこと、修理体制については、「桂離宮整備懇談会」の設置のほか、小委員会も設けられ、文化財建造物の保存と修理に大きな影響を持つ専門家が工事期間を通じて直接指導を行ったこと、修理方針の策定については、(1)整備にあたっては、建物と庭園との一体の姿を損なわないようにする、(2)修理の方針としては、現状をなるべく変更しないことを原則とする、(3)材料

は、極力旧材を再利用し、これを補修して使用しながら建物としての耐久性を増大することに努めるものとする、の3項目が昭和52年度の懇談会の議論により決定されたこと、を明らかにした。

修理内容については、部材の保存が重視され、文化財建造物修理においてさえ塗替えや取替えが一般的な土壁や風化した縁板等も保存することが方針とされたことから、伝統的修理技術を用いたうえで、合成樹脂、金物を用いた構造補強、壁の大ばらしという特徴的な手法を用いたことが知られている。その中でも合成樹脂の使用については、関野克と東京文化財研究所が主体となり導入がすすめられたこと、使用方針策定時には慎重な意見が見られたが、当時使用事例が無い最新の合成樹脂の使用、合成樹脂を用いた新技術の開発などの積極的な取り組みが行われたこと、工事における必要以上の使用や合成樹脂の変色といった課題に対して、監督体制の見直しや原因解明のための調査や実験を行い対処したことを明らかにした。さらに、現状をなるべく変更しないとする修理方針の下での現状変更については、復元に伴う現状変更は、人為的に変更された意匠の復元と、経年劣化や技術の変化による変更部分の復元に分類できること、意図的に変更された意匠の復元は明治修理における変更部分を中心とした最小限度に留められた一方で、唐紙や土壁など伝統的技法の質の低下や変化が見られる部分は当初の技法を復元し、古書院東妻懸魚の六葉の金箔押しといった劣化部分は当初の姿に復旧されたことで、結果的に修理前とは異なる桂離宮御殿群の雅やかな姿を再現することとなったこと、を明らかにした。

これらの修理内容は、文化財の種類の多様化や新技術の導入に伴う戦後昭和期の文化財修理理念の変化を反映した「新しい文化財修理像」を示すものと考えられる。これらの成果を踏まえて、修理時の調査によって明らかになった建築史学的成果の影響や当時の文化財専門家による修理理念といった「新しい文化財修理像」の理念的背景を明らかにすること、修理内容の現在の視点からの評価を行うこと、が今後の課題であると認識している。

## 謝辞

本研究は、公益財団法人松井角平記念財団の2019年度研究助成によるものであり、新型コロナウイルス感染拡大の影響を考慮していただき、一年間の期間延長を承認いただいたことで、研究の遂行が可能となりました。ここに記し感謝の意を表したいと思います。

なお、本研究は東京工業大学大学院環境・社会理工学院博士後期課程1年の高野麗さんと共同で行いました。研究の成果は日本建築学会計画系論文集に投稿する予定です。

また、研究と並行して斎藤英俊博士（現・京都女子大学客員教授）所蔵史料については、目録作成、デジタル化の進行中であり、桂離宮御殿整備工事に関する一次資料として、広く研究者の利用可能なアーカイブとなるよう、報告書の出版等の準備を行っております。

註)

<sup>1</sup> 『本文編』『図録編Ⅰ』『図録編Ⅱ』『図面編』の全4冊、宮内庁、1984～1987

<sup>2</sup> 「桂離宮御殿解体修理について 宮内庁の基本方針」、『工事関係雑書類』（宮内庁、昭和48年4月28日、斎藤資料）

<sup>3</sup> 「桂離宮御殿解体修理」（宮内庁、昭和48年度作成と推定、斎藤資料）

<sup>4</sup> 「桂離宮御殿修理調査報告書」『調査報告』（宮内庁、昭和49年6月、斎藤資料）

<sup>5</sup> 太田博太郎、亀井伸雄、鈴木嘉吉、麓和善「文化財における修理の考え方と技術」『建築雑誌』No.1471、日本建築学会、pp.25-30、2001年5月。なお、兵庫県南部地震により、桂離宮周辺も震度5の揺れを受けたが、大ばらしして再度取り付けられた土壁にはクラック等の被害は生じていない。

<sup>6</sup> 竹之内裕、川野邊渉「文化財建造物の修復に用いられた合成樹脂の変遷」『保存科学』第37号、東京国立文化財研究所、1998年3月、pp.99-123

<sup>7</sup> 関野は昭和48年に「腐朽木材に科学的処置を加えて耐用化し、再使用することによる古建築復元の一連の業績」により日本建築学会賞（業績）を受賞している。

<sup>8</sup> 西澤英和、金多潔「層塔の構造形式に関する力学的な考察—鉄骨による構造補強を巡って—」、『建築史学』第13号、pp.51-75、1989年9月

<sup>9</sup> 金多潔「6.3 保存の工学」、『新建築学体系50』、彰国社、pp.350-371、1999年

<sup>10</sup> 明治16年の宮内省移管後、明治21年から32年にかけて御殿の全面的修理と付属建物の整理撤却が行われ、その後も屋根葺き替え等の部分修理が行われた。

<sup>11</sup> 中書院当初の南西野隅木については、明治修理時ではなく、新御殿建設時に野垂木に転用されたものであり、御殿造営の過程を示す重要な史料として旧位置に戻された。

<sup>12</sup> 斎藤英俊『桂離宮』、毎日新聞社、1982年、他

## 旧海軍施設を中心とした近代建築における使用鋼材に関する研究（継続研究）

水野僚子

日本大学生産工学部建築工学科 助教

### 1. はじめに

近代建築において、躯体材料である鋼材は構造体として重要な要素といえる。日本の鉄鋼技術はたたら製鉄から始まる歴史で語られ、製法や業界について取り上げられることはあるが、製品や建築材料についての情報は少ない。そのため、近代建築において歴史的調査を行う場合、竣工時の史料や材に残るロールマークでも残っていない限り、得られる情報は限られているのが現状である。そこで、本研究は、実存していた旧海軍施設が解体される際に立ち合い、そこで使用されている鋼材について調査・分析を行うことで、今後の参考となる指標を得ることを目的とする。

本稿では、目黒に残っていた昭和初期の旧海軍技術研究所科学及電気研究場について、鋼材分析の結果をもとに当時の使用鋼材について報告する。

### 2. 旧海軍技術研究所科学及電気研究場の建物概要<sup>1)</sup>

対象建物（写真 1）は、防衛装備庁艦艇装備研究所の庁舎として 2018 年まで使用されていた建物である。竣工当初の史料は残っていないが、海軍技術研究所の主要施設は昭和 5 年 9 月に完成しており<sup>2)</sup>、防衛研究所戦史研究センター所蔵資料には昭和 3 年～5 年の予算が確認できる<sup>3)</sup> ことから昭和 5 年竣工と考えられる。当時の海軍省建築局長は柔構造を唱えた真島健三郎であり、本建物は真島の理論に基づいて設計した事例として紹介されており<sup>4)</sup>、当時の海軍で展開した耐震建築を知るうえで重要な建物であるといえる。

建物は梁間約 16m、桁行約 133m の長方形の平面で、同時期の海軍庁舎と比べ桁行が長い。規模は地下付き 3 階建て一部 4 階で、塔屋までの高さは約 17m である。構造は鉄骨鉄筋コンクリート煉瓦造であるが、柔構造理論が取り入れられているとすると、大地震時に煉瓦壁が崩れることを想定していると考えられ、鉄骨造に近いもの



写真 1 建物外観

と考えられる。しかし、鉄筋煉瓦の壁やコンクリートの入り具合を見ると、実際に建てられた建物は想定より頑丈なつくりになっているように思われた。

取り壊しは 2018 年 12 月から 2019 年 5 月にかけて行われ、解体業者協力のもと構成部材である柱・大梁・小梁（写真 1）を提供いただくことができた。



写真 2 提供部材(手前から大梁・中央最上階の小梁・柱)

### 3. 調査概要

#### 3.1 調査試料

提供部材のうち、桁行方向に入っていた大梁について、コンクリートをはつり、鉄骨の状態の良いところをガス切断で切り出し、アングル材（山形鋼）、プレート、リベット（丸鋳）を採取した。

#### 3.2 外観調査

まず、外観を観察し、使用されている鋼材を確認し、試験片採取場所を検討し、外力による変形がほぼ見られないものを選び出した。

大梁は、主材のアングル（L-100×100×12.5）とつなぎ材のプレート（PL-10.5×180）をリベット（径 21mm）で組み立てた箱型断面であった。

#### 3.3 引張試験

##### 3.3.1 試験方法

梁を解体したアングルおよびプレートからそれぞれ 3 本の試験片を JIS Z 2241「金属材料引張試験方法」5 号で作製した。採取位置は図 1 に示したように、主材の引張試験片 3 本中、2 本は同じアングルから採取している（TL-2 と TL-3）。同様につなぎ材のプレートでも、3 本中、2 本は隣接させて採取した（TP-2 と TP-3）。なお、試験片には解体時の強制変形は認められなかったため、プレス加工を

行わずに試験に供した。

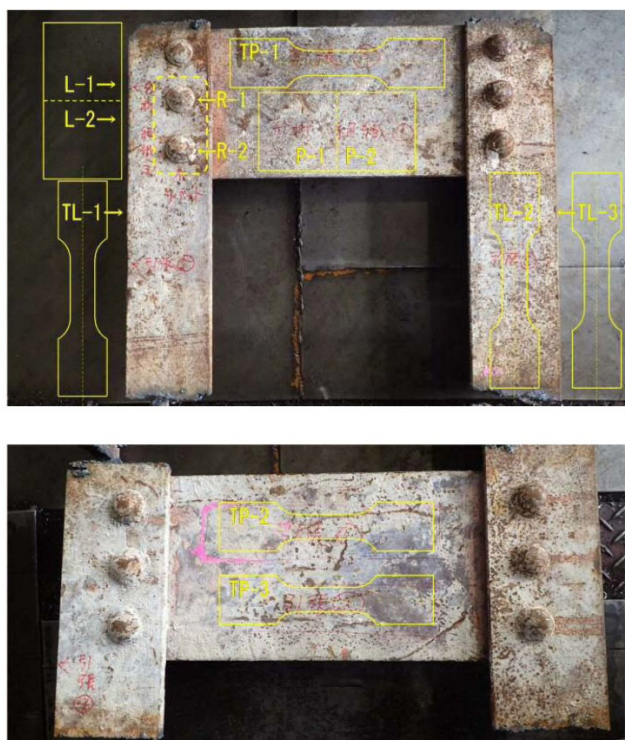


図1 試験片採取位置

### 3.3.2 試験結果

引張試験の結果（表1）から応力-伸び歪関係を示したのが図2である。主材・つなぎ材のいずれも、3本でほぼ同じ応力-伸び歪曲線が得られ、降伏強度は235N/mm<sup>2</sup>を超え、引張強さが400N/mm<sup>2</sup>を超えた値であった。

表1 引張試験結果

| 鋼種                      | 試験片記号 | 平行部厚<br>(mm) | 平行部幅<br>(mm) | 上降伏点<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 下降伏点<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 0.2%オフセット耐力<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 引張強さ<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 破断伸び<br>(%) | 破断位置 |
|-------------------------|-------|--------------|--------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|-------------|------|
| 組立箱形断面柱<br>主材           | TL-1  | 12.3         | 25.0         | 239                          | 236                          | 236                                 | 412                          | 38          | A破断  |
|                         | TL-2  | 12.4         | 25.0         | 252                          | 250                          | 250                                 | 417                          | 39          | A破断  |
|                         | TL-3  | 12.6         | 25.1         | 257                          | 248                          | 254                                 | 419                          | 40          | A破断  |
| 組立箱形断面柱<br>つなぎ材<br>プレート | TP-1  | 11.0         | 25.1         | 280                          | 253                          | 259                                 | 425                          | 43          | A破断  |
|                         | TP-2  | 10.4         | 25.0         | 280                          | 272                          | 277                                 | 431                          | 35          | A破断  |
|                         | TP-3  | 10.3         | 25.0         | 288                          | 281                          | 286                                 | 438                          | 38          | A破断  |

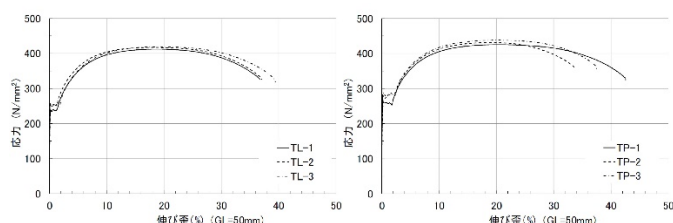


図2 主材アングルとつなぎ材プレート 応力-伸び歪関係図

### 3.4 組織調査

#### 3.4.1 金属組織観察

試験片およびリベットを樹脂埋込し、断面研磨後エッチングを行い、光学顕微鏡により断面中央部における金属組織を観察した。観察方向はアングルとプレートは図3-1に示した観察面、リベットは図3-2に示した軸部と頭部を観察箇所とした。

アングルおよびプレートの断面組織（図4-1）を見ると、各鋼材ともにフェライト・パーライトが観察される金属組織であるが、プレートの方が細かい組織が観察された。リベットの断面観察結果である図4-2では、軸部と頭部で金属組織に差はみられず、熱影響を受けた組織が観察された。

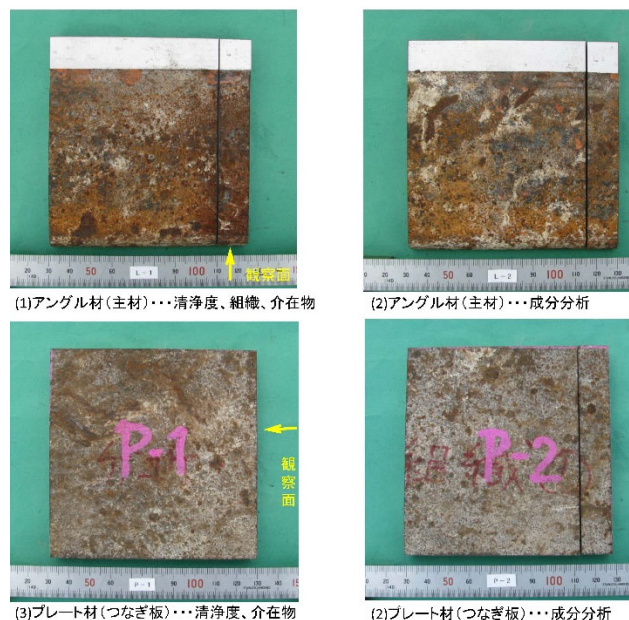


図3-1 アングルとプレートの観察用試料



図3-2 リベットの観察用試料

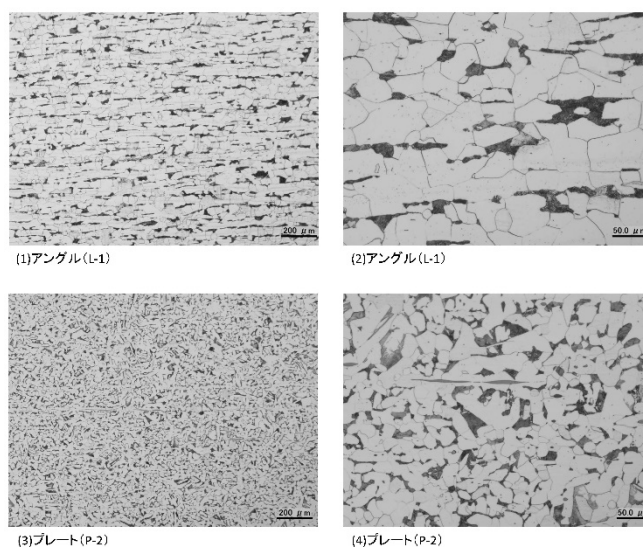


図4-1 アングルとプレートの金属組織観察結果

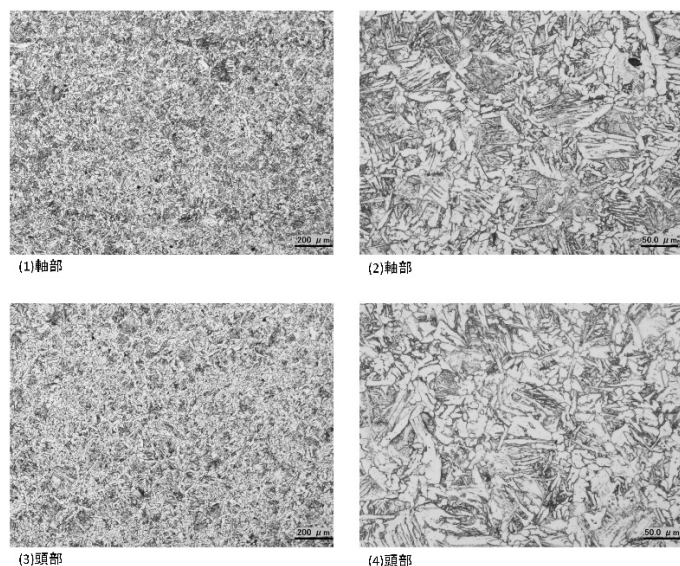


図 4-2 リベットの金属組織観察結果

### 3.4.2 清浄度

樹脂埋込した試験片を、断面を研磨し光学顕微鏡により観察、清浄度を測定した。組織観察面と同じ面の断面中央で観察した。この観察面にて点算法<sup>5)</sup>により介在物を測定した結果を表 2 に示す。鋼材に存在する非金属介在物は、大きく分けて次の 3 系に分類される。

- A 系：加工によって変形をうけたもの。主に MnS。
- B 系：加工方向に不連続に粒状に並んだもの。おもに  $Al_2O_3$ 。
- C 系：変形をあまりしないので不規則に分散した粒状物。たとえばシリケート等。

鋼材の通常の数値は形鋼で 0.20～0.35 程度といわれており、本調査対象材は比較的清浄な鋼材といえる。

表 2 清浄度測定結果

|      |     | 点算法による介在物測定結果 (%) |      |      |      |
|------|-----|-------------------|------|------|------|
|      |     | A 系               | B 系  | C 系  | 清浄度  |
| アングル | L-1 | 0.08              | 0.00 | 0.00 | 0.08 |
| プレート | P-1 | 0.06              | 0.00 | 0.01 | 0.07 |
| リベット | R-1 | 0.05              | 0.03 | 0.01 | 0.08 |

### 3.4.3 非金属介在物

金属組織を観察した試料にて観察された介在物を、走査型電子顕微鏡 (SEM) とエネルギー分散型 X 線分析器 (EDS) により観察した。観察結果の事例として L-1 を図 5 に示す。

アングル、プレート、リベットそれぞれで見られた 3 つ介在物 (アングル①～③、プレート④～⑥、リベット⑦～⑨) について、形状と分析結果より、分析箇所①、④、⑦、⑧が粒状で Al が多く検出されていることからアルミナ系の介在物、分析箇所③、⑥、⑨は圧延方向に伸び Mn, S が検出されていることから MnS と推定される。分析箇所②と⑤は圧延方向に伸び、Mn や Si が検出されていることから Mn 酸化物や Si 系が混在した介在物と推定される。

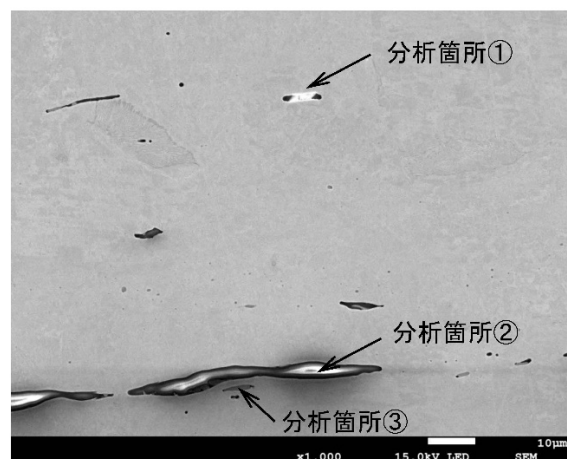


図 5 EDS による介在物 (L-1) 観察結果

### 3.4.4 硬さ

清浄度測定を行った観察面にてビッカース硬さを測定した結果は表 3 に示すとおり、アングルとプレートは、おおよそ同等の硬さである。

表 3 硬さ測定結果 (HV10)

| 試験片  |     | N | 硬さ  | 平均  |
|------|-----|---|-----|-----|
| アングル | L-1 | 1 | 127 | 129 |
|      |     | 2 | 130 |     |
|      |     | 3 | 130 |     |
| プレート | P-1 | 1 | 121 | 123 |
|      |     | 2 | 125 |     |
|      |     | 3 | 123 |     |
| リベット | R-1 | 1 | 154 | 155 |
|      |     | 2 | 154 |     |
|      |     | 3 | 155 |     |

### 3.5 成分分析

#### 3.5.1 分析方法

引張試験片作製時に分析用試料を作製し、化学成分を分析した。

- ・試料：アングル材 (L-2)、プレート材 (P-2)、リベット (R-1)
- ・分析元素：C, Si, Mn, P, S, Cu, Ni, Cr, Mo, V, B, N
- ・分析方法：赤外線吸収法 (C, S),  
ICP 発光分光法 (Si, Mn, P, Cu, Ni, Cr, Mo, V),  
吸光光度法 (B), 熱伝導度法 (N)

#### 3.5.2 分析結果

アングル (L-2)、プレート (P-2)、リベット (R-1) の化学成分を

分析した結果を表 4 にまとめる。プレート (P-2) は、アングル (L-2) やリベット (R-1) より Si, Cu が低い傾向がみられる。

表 4 化学成分分析結果(mass%)

|     | C     | Si   | Mn   | P     | S     | Cu   | Ni    | Cr    | Mo    | V     | N     | B      |
|-----|-------|------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| L-2 | 0.154 | 0.15 | 0.49 | 0.015 | 0.035 | 0.19 | 0.03  | 0.02  | <0.01 | <0.01 | 0.004 | 0.0004 |
| P-2 | 0.189 | 0.01 | 0.56 | 0.042 | 0.049 | 0.02 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | 0.003 | 0.0004 |
| R-1 | 0.164 | 0.19 | 0.60 | 0.024 | 0.028 | 0.12 | 0.04  | 0.03  | <0.01 | <0.01 | 0.004 | 0.0003 |

4. 考察

1) 引張試験特性

大正 15 年制定の日本標準規格 JES 第 20 号「構造（橋梁，建築其ノ他）用圧延鋼材」<sup>6)</sup> では，平鋼の引張強さが 39～47kg/mm<sup>2</sup>（382.2～460.6N/mm<sup>2</sup>）とされているが，アングルの引張強さ 412～419N/mm<sup>2</sup>，プレートの引張強さが 425～438N/mm<sup>2</sup>という試験結果は，当時の規格値を満たした鋼材であったといえる。また応力-ひずみ曲線でも 3 本でほぼ同じ応力-伸び歪曲線が得られている。

2) 金属組織

プレートとアングルは，炭素鋼の一般的な組織であるフェライト・パーライト組織で，リベットは，熱影響を受けた組織が観察された。リベット締め作業は，リベットを 900～1100℃に赤熱後，締結部にセットしリベット打ちを行うことから<sup>7)</sup>，リベットの金属組織は，締結作業時における加熱時の熱影響を受けた組織となったと考えられる。

3) 化学成分

日本標準規格 JES 第 20 号「構造（橋梁，建築其ノ他）用圧延鋼材」では，化学試験項目に成分，製鋼法について

- ・第一種：P, S ≤ 0.06%，酸性または塩基性平炉で製造
- ・第二種：平炉 P ≤ 0.08%，S ≤ 0.06%  
転炉 P ≤ 0.12%，S ≤ 0.06%  
酸性または塩基性平炉もしくは転炉で製造。

とされている。分析結果は，P はアングルが 0.015%，プレートが 0.042%，リベットが 0.024%であり，N はアングルとリベットが 0.004%（40ppm），プレートが 0.003%（30ppm）という成分値であった。当時の転炉である八幡製鉄所のベッセマー転炉（酸性転炉，1927 年に休止<sup>8)</sup>）による鋼では，P は 0.070%以下を得ることが困難であったが平炉材では 0.040%以下で得られ，また N は空気を吹き込む転炉では 0.008%（80ppm）以下は困難であったと報告されているが<sup>9) 10)</sup>，今回の P, N の分析結果では，以上の報告にある当時の転炉鋼の値より低いことから平炉鋼と推定される。

また V の分析値は 0.01%未満であったが，塩基性炉の場合はスラグとの反応により V 量が低下する傾向があること，当時の八幡製鉄所ではベッセマー転炉と同時に塩基性平炉を導入したことから，塩基性平炉による鋼の可能性が考えられる。

Cu の分析値ではアングルおよびリベットとプレートで差異がみられるが，原料の鉄鉱石，または使用されたスクラップ由来によると推定される。

以上により，今回調査した鋼材は，JES 第 20 号（1925 年）の第一種の規格値を満たした鋼材といえる。

5. まとめ

昭和初期に竣工した海軍庁舎建築について，解体時に回収された鋼材の調査結果を以下にまとめる。

- ・主材であるアングルの引張強さは 412～419N/mm<sup>2</sup>，つなぎ材であるプレートの引張強さは 425～438N/mm<sup>2</sup>であった。
- ・アングルとプレートの金属組織は，フェライト・パーライト組織であり，プレート材の方が細かい組織であった。
- ・リベットは，施工時の加熱による熱影響を受けた組織であった。
- ・清浄度は，0.07%～0.08%であった。
- ・観察された介在物は，MnS と推定される A 系，アルミナ系と推定される B 系，Mn 酸化物や Si 系が混在したと推定される介在物が観察された。
- ・硬さは，アングルが 129HV，プレートが 123HV とほぼ同様であり，リベットは 155HV であった。
- ・成分分析では，アングルやリベットよりプレートの方が Si と Cu が低い傾向がみられ，N はアングルとリベットが 40ppm，プレートが 30ppm であった。

今回調査した梁に使われた鋼材は，平炉鋼と推定され，JES 第 20 号「構造（橋梁，建築その他）用圧延鋼材」（1925 年）の第一種の規格値を満たした鋼材といえる。

謝辞

本調査では防衛装備庁艦艇装備研究所とコーナン建設株式会社関係者の皆様にご協力いただきました。また実験は，日鉄テクノロジー株式会社富津事業所材料ソリューション部材料解析室にご協力いただきました。ここに深く感謝申し上げます。

注

- 1) 水野僚子・藤本利昭・中島久男・湯本桂・山中美穂・河地駿介：旧海軍技術研究所科学及電気研究場にみる真島健三郎の柔構造理論の影響について，日本建築学会大会学術講演会梗概集，2018.9，pp.1031～1032
- 2) 『日本無線史 10 巻』電波監理委員会，1951.9.30
- 3) 防衛研究所戦史研究センター所蔵「昭和 4 年度 公文備考 巻 94」「昭和 年度 公文備考 巻 118」
- 4) 海軍施設系技術官の記録，海軍施設系技術官の記録刊行委員会，1972.5，「如何なる構造を以て地震に対するべきかー耐震構造に関する海軍省真島博士の所説（1）」『土木建築工事画報』第 5 巻 9 号，1929.9
- 5) JIS G 0555（2003）付属書 1「点算法」，観察条件は 100 倍，ノーエッチ。
- 6) 『日本標準規格 合本第 1 巻』商工省，1932
- 7) 島田静雄『講義テキスト・リベット構造』1968（電子化版，2001）
- 8) 『八幡製鉄所八十年史』新日本製鉄株式会社，1980
- 9) 山崎鯛介・菅野良一ほか：旧犬吠埼信号所霧笛舎に使用された鋼材について，日本建築学会計画系論文集 第 76 巻 第 670 号，2011
- 10) 大石徹：鉄道レールの組成からみた製鉄の歴史 環境と測定技術 Vol.36 2009