

2018年度(平成30年度)第4回 研究報告

2026.8.26現在

NO.	氏名	所属研究機関・職名	研究課題	ページ
1	イケガミ シゲヤス 池上 重康	北海道大学大学院 助教	建築一件書類に基づく大正期混構造(組積造とRC造)建築の調査研究 (継続研究)	1～5
2	イトウ ヨウコ 伊藤 洋子	芝浦工業大学 教授	七面山敬慎院社殿の研究 ー日蓮宗における七面神信仰の建築につ いてー	6～9
3	イトウ リュウイチ 伊東 龍一	熊本大学大学院 教授	近世指図の作図技法と描法の展開に関する研究ー建地割の編年指標 における精度の向上ー	10～19
4	ウンノ サトシ 海野 聡	東京大学大学院 准教授	中世興福寺の諸建築にみる復古思想の解明	20～23
5	オオウエ ナオキ 大上 直樹	京都美術工芸大学 特任教授	「枝割制」再考 ー「枝割制」の疑問と新たな平面寸法決定法の提案ー	24～29
6	オオノ サトシ 大野 敏	横浜国立大学大学院 教授	近代の文化財建造物の保存活用に関する基礎的研究 ー神奈川県立歴史博物館(旧横浜正金銀行本店本館)を事例として	30～33
7	カナオ イオリ 金尾 伊織	京都工芸繊維大学 教授	現状復帰可能な歴史的煉瓦造建築物の耐震補強方法開発のための基 礎的研究	34～37
8	キタノ ノブヒコ 北野 信彦	龍谷大学 教授	近世社寺建造物における油彩系塗装彩色材料・技法の調査と保存修 理・資料活用に関する研究	38～42
9	キタモリ アキヒサ 北守 顕久	京都大学生存圏研究所 研究員	断面の大きな貫接合部の耐力発現機構に関する研究	43～44
10	スギノ ミナ 杉野 未奈	京都大学大学院 准教授	伝統木造建物の柱材の完全非破壊型密度推定法の構築	45～46
11	タキノ アツオ 瀧野 敦夫	奈良女子大学 准教授	根継ぎを有する柱を含めた板壁構面の耐震性能評価	47～50
12	ナカオ ナナエ 中尾 七重	山形大学 客員研究員	重文堀家住宅(賀名生皇居)の建築年代調査と当初復原	51～54
13	ノムラ シュンイチ 野村 俊一	東北大学大学院 准教授	中世折衷様建築の地域固有性に関する学際的・対外交渉史的研究	55～58
14	ハナザト トシカズ 花里 利一	三重大学大学院 教授	振動調査に基づく伝統的木造社寺建築の積雪荷重の評価	59～62
15	マツモト ナオユキ 松本 直之	東京大学生産技術研究所 助教	要素実験に基づく木摺と漆喰の連動的挙動の解明	63～79
16	ミズノ リョウコ 水野 僚子	日本大学 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	80～85
17	ミヤモト ミツヒロ 宮本 慎宏	香川大学 准教授	社寺建築物に用いられる厚塗り土壁を有する木造軸組架構の耐震性能 評価法の構築	86～87
18	ムラモト マコト 村本 真	京都工芸繊維大学 准教授	伝統木造建築の保存設計のための土壁と壁土の実験データベース構 築による土壁の性能分析	88～9
19	メグロ シンゴ 目黒 新悟	奈良文化財研究所 アソシエイトフェロー	越後大工・小黒左右衛門の建築活動と建築作品の特徴	9 ～9
20	ヤマダ コウジ 山田 耕司	豊田工業高等専門学校 教授	柱脚浮き上がり許容した壁を含む架構の水平耐力に関する縮小試験 体による実験的検証	9 ～9

※50音順

※原則、所属研究機関・職名は申込時を記載。

建築一件書類に基づく大正期混構造（組積造とRC造）建築の調査研究（継続研究）

北海道大学大学院工学研究院 池上重康

はじめに

前年度の研究報告で、管見として純粋な梁式RC造スラブの採用は大正11年竣工の旧名古屋控訴院が嚆矢であるとし、明治時代には、鉄骨を用いた防火床構造が広く展開していたが、RC造床が採用されるには至らなかったと考察した。しかしながら、これは図面資料を元に、主に、司法省営繕（名古屋控訴院庁舎と札幌控訴院庁舎）と文部省営繕（東北帝国大学理科大学と九州帝国大学）に着目して得られた結果であり、日本全体の趨勢を現しているとは言い難い。今般、継続研究の機会を得たことにより、防火床構造から梁式RC造床スラブの採用に至るまでの過程を再考し、新たに閲覧できた図面資料から、その具体像を明らかにしていきたい。

1 明治時代における防火床構造からRC造床構造の変遷

社団法人日本工学会が昭和2年に発行した『明治工業史 建築編』の「第4編 建築構造及び施工」の「第1章 建築構造及び材料の発達進歩」、「第5節 明治後期の構造及び材料」には「明治三十年以後に及んで米国式鉄骨構造法漸次散見し、終に明治大正の交に於いて其の構造法盛に行はれたり。大建築又は多層建築の如きは、何れも其の構造法に依るもの多きに至れり。それより遅れて、明治四十年頃より、鉄筋混凝土構造法も漸を以て流行の徴候を呈し、既に同四十四年には四層建なる会社建築を見るに至れり。而して其の構造法の盛に用ひらるゝに至りたるは大正時代なり」とあり、鉄骨構造が先に導入され、鉄筋コンクリート構造は遅れて採用され、大正時代に大きく展開していったことが読み取れる。ここでは「明治時代に於ける鉄骨構造の例」として挙げられたもののうち、ハイブリッド構造の一例として、明治40年8月起工、同42年12月竣工の東京日本橋に建った丸善株式会社店の構造に着目したい。鉄骨構造ならびに鉄筋コンクリート構造の泰斗として知られる佐野利器の設計で、軸組、床組、小屋組共に鉄骨造で外壁に煉瓦を貼るが、各階の床は鉄筋コンクリート造としている。『建築世界』掲載の図面からは、鉄骨構造とRC造床構造との接合は詳らかにはならず、かつ当時導入が試みられていた、どの種類の配筋法なのかも把握できない。

三橋四郎は明治41年に「鉄筋混凝土並に其応用」と題した講演を行っており、『建築雑誌』誌上にその詳細が掲載されている²。そこでは、さまざまな鉄筋コンクリート床構造を図入りで示している。鉄格子をコンクリートの中に入れた「モニエー式」、「うねうねの鉄棒で格子を拵へて」コンクリートに入れる「コツタンシン」式、「亀甲天井」スタイル、エキスパンションメタルを使った方式、工字型の鉄梁の格子の中に捻った鉄棒を入れた「ヘンネビツク」法、旧来のヴォールト式防火床の煉瓦迫持ちの代わりに捻れ鉄筋を入れたコンクリートヴォールト式、工字鉄を用いず床梁まで上は細い鉄筋、下は太い鉄筋を使う「コアネット式」などが紹介されている。新技術の導入への試行錯誤が見て取れる。

2 『建築雑誌』に見るハイブリッド構造

前述の三橋四郎の記事にもあるように、明治後半から大正初期にかけて、日本建築学会の機関誌である『建築雑誌』には、鉄筋コンクリートについての最新情報が頻繁に掲載されていた。その中で、壁体を組積造とし、床を木組でなく防火床構造（鉄筋コンクリート造を含む）とするものが、巻末の新築物件の紹介記事に相当数見ることができる。ここでは、佐野利器が丸善株式会社店を設計した明治40年から、ハイブリッド構造がほぼ見られなくなる大正10年までの記事を床構造に着目してまとめ、ハイブリッド構造の趨勢を探ってみたい。

¹ 鈴木博之・初田亨『図面で見える 都市建築の明治』（柏書房、1991年）、p.99に転載の図を参照した。

² 『建築雑誌 第264号』（明治41年12月）、pp.467-490。

表1 『建築雑誌』(明治40年～大正10年)掲載のハイブリッド構造一覧

建築名称	所在地	起工年月	竣工年月	壁構造	床構造	設計者	『建築雑誌』 掲載年月
田中写真製版工場	東京麹町			煉瓦造	鉄梁「コンクリート」床	辰野葛西事務所	明治40年10月
海軍参考館	東京築地	明治39年1月	明治41年4月	鉄骨煉瓦造	鋼鉄工字梁を配し波形鉄板を架し「コンクリート」を填充		明治41年9月
前田侯爵邸	東京本郷	明治36年1月	明治40年5月	煉瓦造	鉄梁を横架し弧円形鉄板を架床し混凝土を填充		明治41年11月
横浜市役所	横浜市	明治41年3月		鉄筋入煉瓦壁	工形鋼鉄梁を配置し波形鉄板を架け渡し「コンクリート」厚平均一尺に打ち均し	池田稔、足立鳩吉	明治42年5月
神戸市庁舎	神戸市	明治40年11月	明治42年12月	石造	六十听レールを架し煉瓦アーチを掛け渡し耐火構造とし	秋吉全徳	明治43年8月
東京中央電話局京橋電話分局	東京京橋	明治42年11月	明治43年9月	煉瓦造	床梁は工字形鋼鉄梁を用ひ、荷持柱は煉瓦製コンクリート巻	吉井茂則、内田四郎、北畠義弘	明治43年12月
三菱合資会社大阪支店	大阪市	明治40年5月	明治43年12月	鉄骨煉瓦造	工形鋼梁を用ひて構造し梁間は貳糎厚波形鉄板張をなし其上に厚五寸の混凝土打、トリアンギュラーメツシスチールワイアレーンフオーズメントを用い鋼梁上に厚五寸の鋼筋混凝土を打立つ	曾禰達蔵、保岡勝也	明治44年2月
秀英社本社	東京京橋	明治43年12月	明治44年11月	煉瓦造	鉄骨「コンクリート」構造の耐火床	北田九一	明治45年4月
十五銀行日本橋支店	東京日本橋	明治41年8月	明治42年3月	煉瓦造	工形鋼梁間に弧状海鼠板を挿し込み更に石炭殻「コンクリート」を填充	妻木頼黄、小林金平	大正元年9月
生命保険会社協会	東京麹町	明治43年6月	大正元年11月	煉瓦造	鋼鉄梁と「コンクリート」とを以て耐火床を構造	辰野金吾、葛西萬司、片岡安	大正2年8月
開港記念横浜会館	横浜市			鉄骨煉瓦造	鋼梁、鉄筋コンクリート	西村好時	大正2年12月
高田商会本社	東京麹町	明治44年11月	大正3年3月	煉瓦造	鉄梁を使用し煉瓦陸道持積「コンクリート」打	デラランデ	大正3年7月
中井銀行浦和支店	浦和市	大正2年9月	大正3年5月	煉瓦造	床梁は鉄筋「コンクリート」梁と木材を併用	保岡勝也	大正3年9月
日本生命保険名古屋支店	名古屋市	明治41年10月	明治43年4月	鉄骨煉瓦造	鉄梁「コンクリート」打ち	辰野金吾、片岡安	大正3年10月
大阪窯業	大阪市	大正元年7月	大正2年10月	鉄骨煉瓦造	鉄梁を架渡し床片は凡て鉄筋「コンクリート」		大正3年11月
安田商事大阪支店	大阪市	明治44年6月	大正2年1月	鉄骨煉瓦造	鉄梁入鉄筋「コンクリート」造	辰野金吾、片岡安	大正3年11月
日本生命保険京都支店	京都市	明治45年4月	大正3年6月	鉄骨煉瓦造	鉄梁及鉄筋「コンクリート」構造	辰野金吾、片岡安	大正4年3月
大阪控訴院	大阪市	明治43年4月	大正5年5月	煉瓦造	鉄梁鉄筋コンクリート	山下啓次郎、横濱勉、金刺森太郎	大正5年7月
岩本氏本邸	兵庫県武庫郡	明治44年7月	大正3年12月	煉瓦造	鉄筋「コンクリート」防火床		大正5年8月
三井銀行大阪西支店	大阪市	大正3年12月	大正5年6月	煉瓦造	鉄筋混凝土構造	松井貫太郎	大正5年8月
高岡共立銀行本店	高岡市	大正2年9月	大正3年12月	補強式鉄骨煉瓦造	鉄筋コンクリート	田邊淳吉	大正5年9月
田中銀行	東京麹町	大正3年7月	大正5年8月	鉄骨煉瓦造	鉄筋混凝土構造	渡邊福三	大正5年11月

建築名称	所在地	起工年月	竣工年月	壁構造	床構造	設計者	『建築雑誌』掲載年月
東京銀行集会所	東京	大正3年1月	大正5年9月	煉瓦造	煉瓦壁上に鉄梁を架し凡て鉄筋コンクリートとす	松井貫太郎	大正6年1月
三井銀行神戸支店	神戸市	大正3年11月	大正5年11月	煉瓦造	鉄筋コンクリート	長野宇平治	大正6年2月
明治火災保険神戸支店	神戸市		大正6年1月	煉瓦造	鉄筋混凝土	横川工務所	大正6年4月
鍵三銀行	新潟市	大正4年8月	大正6年2月	煉瓦造	鉄筋コンクリート造	田中實	大正6年5月
住友銀行東京支店	東京	大正2年7月	大正6年9月	鉄骨煉瓦造	鋼梁を掛け鉄筋「コンクリート」造	野口孫市、日高胖	大正6年10月
中井銀行	東京日本橋	大正4年6月	大正6年10月	鉄骨煉瓦造	鉄筋コンクリート	保岡勝也	大正6年10月
丁酉銀行本店	東京京橋	大正4年7月	大正6年11月	煉瓦造	内地鋼梁を架渡し、其大部分は梁間に米国製ハイ・リブ・メタル・ラツスを張込み、尚補強の為要部にリブ・バーを挿入し、混凝土を打施したる	妻木頼黄、矢橋賢吉、小林金平	大正7年1月
三菱仮本社	東京麹町	大正4年10月	大正7年4月	鉄骨煉瓦造	鉄筋「コンクリート」造	三菱合資地所課	大正8年4月
横浜正金銀行神戸支店	神戸市	大正6年7月	大正8年7月	煉瓦造	鉄筋コンクリート造	長野宇平治	大正8年10月
第一銀行熊本支店	熊本市	大正6年6月	大正8年5月	煉瓦造	筋鉄「コンクリート」構造	西村好時	大正9年2月
横浜正金銀行下関支店	下関市	大正7年1月	大正9年1月	煉瓦造	鉄筋コンクリート造	長野宇平治	大正9年10月
日本興業銀行大阪支店	大阪市	大正7年3月	大正9年3月	石造	鉄筋コンクリート造	長野宇平治	大正9年10月

明治43年竣工の物件までは、工字形鋼(I型鋼)に波板(海鼠)鉄板あるいは煉瓦アーチを掛け渡し、その上にコンクリートを打つ、所謂「防火床」構造であったが、曾禰達蔵と保岡勝也が設計した、明治40年起工、明治43年竣工の三菱合資会社大阪支店では、「トライアングュラーメツシスチールワイアレーンフオースメント」即ち、triangular mesh steel wire reinforcement＝三角形メッシュ鋼線による鉄筋コンクリート床を一部で採用していたことが読み取れるが、設計図面あるいは詳細図がないため正確に断定はできない。しかしながら、米国スチールワイヤ会社特製とあるので、当時、アメリカで用いられていた最新の技術を導入したのであろう。鉄筋コンクリートというより、鉄網コンクリートと呼ぶべきかもしれないが、少なくとも従来の「防火床」とは一線を画する構造といえる。以降、明治年間に起工したものには、旧来の「防火床」と判断できるものが妻木頼黄による十五銀行日本橋支店や辰野金吾による生命保険会社協会において確認される一方で、大正時代に竣工したものの中には、鋼梁(または鉄梁)を渡し、「鉄筋コンクリート」を床として打つものが増えてくる。ただし、文字だけの情報であるので、防火床の上に打つコンクリートに鉄筋を配しただけなのかもしれない。兵庫県武庫郡芦屋町に建った岩本氏本邸(明治44年起工、大正3年竣工)などは、この構法であると推察できる。

ところで清水組の設計施工による、明治44年起工、大正3年竣工の森村銀行(東京日本橋)は、前掲岩本氏本邸と同一の施工期間ながらも、総鉄筋コンクリート造であり、床構造は、鉄梁をかけた鉄筋コンクリートとしている³。明治から大正に変わる過渡期には、ハイブリッド構造の床構造のみならず、鉄筋コンクリート構造ですら、床の張り方は試行錯誤の状態であったことが窺われる。田邊淳吉が設計した大正2年起工、大正3年竣工の高岡共立銀行本店では、床構造に「鉄筋コンクリート」とだけ書かれる。鋼梁や防火床の記載はないので、補強式鉄骨煉瓦造ではあるものの、床に鉄筋コンクリートスラブを採用したハイブリッド構法の嚆矢と考える。これ以後、床構造には「鉄筋コンクリート」のみ記述されるものが大半を占める。即ち、大正時代の到来とともに、煉瓦造の壁に鋼梁を渡さずに鉄筋コンクリートの床

³『建築雑誌 第335号』(大正3年11月号)、pp.56-58。

スラブを張るというハイブリッド構造が考案され、一般化したと考える。妻木頼黄、矢橋賢吉、小林金平設計の丁酉銀行本店は、ハイリッブ・メタルラス⁴にコンクリートを打設するなど、アメリカより伝来した構法を用いるが、鋼梁を用いる点で、既に時代遅れとも捉えうる。

3 司法省営繕と海軍省営繕のハイブリッド構造

昨年の報告では、河合浩蔵設計の神戸地方及区裁判所庁舎(明治37年竣工)について、建築一件書類が現存しているらしいことを述べたが、神戸大学中江研博士より、床構造を読み取れる断面図を提供いただいた⁵。それによると、2階床は振れ留め付きの木造床であるが、半地下を持つ1階床は、煉瓦ヴォールトによる防火床構造であったことがわかる。煉瓦造という防火構造を採用しながらも、床全てに防火床構造を採用していなかったことは、新たな発見といえる。前述したように、名古屋控訴院庁舎はハイブリッド構造の嚆矢ではなかったことが判明したが、床構造が図面で確認できる最も早い事例でもあるので、ここで、今一度、この建物の床構造を顧みたい。建物中央に位置する主階段は、全て鉄筋コンクリート造としているが、半地下へ通じる階段や脇階段は、踊り場までを煉瓦積みとしている。神戸地方裁判所庁舎で防火床としていたのとは仕様が異なる。理由は定かではないが、この建物を施工していた大正中期には、防火床構造は既に時代遅れになっており、明治中期まで頻繁に用いられていた煉瓦のアーチを組むことはなく、かつ波板鉄板も廃れていたのであろう。安価に済ませる方法として煉瓦を積むことが選択されたのではないだろうか。また、床スラブについては、モニエー式のような単なる格子状の配筋ではなく、応力を考慮した配筋となっており、梁についても床スラブと一体化し、斜筋、下端筋も現在の鉄筋コンクリートの配筋と遜色のない(むしろ配筋密度は高いともいえる)配筋が確認できる。鉄筋コンクリートが主流になっていた時代背景を考慮すると、ハイブリッド構造といえども、当時最先端の鉄筋コンクリートの構法が採用されていたと考えるのが妥当である。

佐世保市には、佐世保鎮守府(海軍工廠)関係のハイブリッド構造の建物がいくつか現存している。一つは佐世保海軍工廠大砲庫(明治43年竣工、現海上自衛隊佐世保造修補給所立神西一号倉庫)であり、これについては、防衛省防衛研究所所蔵の戦史史料中に設計図面が含まれている。主構造は鉄骨造で、柱梁間に煉瓦を充填している。断面構成はバシリカ形式で、側廊に当たる部分の2階床に防火床を採用している。I型鋼にヴォールト状波板鉄板を渡し、その上にモニエー式の鉄筋コンクリートを打設している。いま一つは佐世保鎮守府第五水雷庫(大正11年竣工、現西九州倉庫(株)前畑1号倉庫)で、鉄筋コンクリートのラーメン構造に、石を張っている。巨大な建物であり、内部には鉄筋コンクリート造の柱が林立している。

4 文部省営繕のハイブリッド構造

大正10年竣工の東北帝国大学金属材料研究所、大正10年～12年に竣工した九州帝国大学の造船学教室、造船学仮実験室、仮実験研究室(現本館)がハイブリッド構造で建てられたことは前報で述べた。今回は、昨年度に調査できなかった、東京帝国大学と京都帝国大学の事例を報告する。

東京大学は、図面を管理する施設部に何度も調査依頼をしたが、「学外者に閲覧許可した前例がない」の一点張りで、最後まで閲覧許可をもらえなかった。しかしながら、2017年度に国立近現代建築資料館の調査の一貫で、一連の図面を閲覧、複写しており、今回は、その中から、床構造を読み取れる一枚のみを考察対象とする。建物は、大正4年竣工の東京帝国大学法科大学講義室で、煉瓦造の壁に鉄筋コンクリートの床スラブと階段が貫入している様子が見て取れる。ハンチのない厚板を煉瓦壁に貫入させている。配筋は下端筋のみ繁にいれ、上端筋は平行に配置するのみで格子状になっていない。梁には応力に従った配筋がなされているようである。

⁴ 富士本学、松本直之、熊谷亮平、腰原幹雄「明治期日本における防火床構法の普及過程に関する一考察 工部大学校・帝国大学工科大学・東京帝国大学工科大学における建築卒業設計図面に着目して」(『日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)』、2019年、pp.673-674)で、三橋四郎『和洋改良大建築学』(大倉書店、1904年)を改訂増補した『大建築学』(大倉書店、1923年)に掲載された「ハイリッブ」として紹介している。

⁵ 出典は神戸の建築を考える会『神戸地方裁判所 保存への道—神戸地方裁判所保存問題関連資料報告書—』(1987年)。

京都帝国大学では、大正4年の法科大学研究室、大正7年の金相学研究所、大正9年の理学部地質鉱物学教室、大正11年の理学部生物学化学研究室、理学部物理学教室階上増築のそれぞれの設計図面に、ハイブリッド構造が確認できた。法科大学教室では、ごく一部の床に、梁付き鉄筋コンクリートと考えるスラブを確認できた。金相学研究室では、梁にハンチを付け、かつ梁同士を柱の上で繋ぎ、臥梁のように構成している。地質学鉱物学教室と生物学化学教室では大梁と小梁を使い分け、大スパンの床にも対応している。わずか7年の間に、防火床がフラットスラブになっただけの簡素なものから、完全に鉄筋コンクリートを理解した梁付き床スラブへと進化を遂げたことが読み取れる。設計は全て永瀬狂三であり、一人の建築家が、一つの組織の中で、組積造から鉄筋コンクリート造へと変貌を遂げる過渡期の構造選定に当たっての試行錯誤を見ることができる貴重な事例である。

5 通信省の事例

通信省は残存する図面が少なく、現存する図面には、本研究で対象とするハイブリッド構造は確認できなかったが、ポストハイブリッド構造の興味深い事例をいくつか確認できたので報告したい⁶。

大正12年の小樽郵便局電話分室と大正13年の京都中央電話局新上分局は、構造体はともに鉄筋コンクリート造であるが、外壁の過半に煉瓦壁を充填している。前述した佐世保海軍工廠大砲庫の鉄骨と防火床がすべて鉄筋コンクリートになったと考えると理解が良いかもしれない。構造としての煉瓦造は駆逐されたが、壁充填材として煉瓦がまだ生き残っていた事例である。大正15年の京都中央郵便局では、壁も鉄筋コンクリートとなり、外壁をタイルで覆う。

先に『建築雑誌』の記事で紹介したように、明治末の東京中央電話局京橋分局の「床梁に工字形鋼鉄梁を用ひ、荷持柱は煉瓦製コンクリート巻」という記述から床の仕様は読み取れないが、床になんらかの形でコンクリートを用いた可能性は想像できる。これ以降、大正前期の通信省管轄の新築記録は『建築雑誌』には見当たらない。NTTファシリティーズでも所蔵がないというし、郵政から派生したJPにも所蔵は期待できないという。『高等建築学 19 建築計画7 通信省の建築』の「第9章 郵便、電信、電話局舎」に図面や仕様を細かく紹介しているのは、鉄筋コンクリート構造および鉄骨造のもののみで、ハイブリッド構造の床仕様に関する記述は見当たらない。大正時代前半の通信省管轄関係の図面資料がみつければ、ハイブリッド構造のミッシングリンクを解く鍵になることは間違いない。

むすび

図面としての確証はないが、大正3年竣工の高岡共立銀行本店が、ハイブリッド構造の嚆矢であることがわかった。当建物は、高岡市の重要伝統建造物保存地区内の主要建築でもあり、辰野金吾の監修と、清水組の施工により完成したと併せ、日本初のハイブリッド構造であることが確定できれば、文化財的価値も更に上がることであろう。前年、重点を置いて考察した旧札幌控訴院は、本年重要文化財指定となった。地道な研究の積み重ねが、文化財指定という成果を産むことは、研究者冥利に尽きることであり、研究助成をいただいた松井角平記念財団にも、その事業が報われた結果にもなったであろう。

図面として確実にハイブリッド構造を採用した嚆矢と言えるのは、大正4年竣工の京都帝国大学法科大学研究室である。この場を借りて前報の誤りを訂正したい。

ハイブリッド構造は官庁管轄が主導したのでもなければ、帝国大学卒業生が先進的に導入したわけでもない。官庁、民間、建築家分け隔てなく、明治から大正への時代の過渡期に導入が試みられた鉄筋コンクリート造のメリットを部分的に採用した結果と捉えるのが無難な理解であろう。通信省管轄でみられた煉瓦壁の残滓も、関東大震災の被害により完全に駆逐された。そういった観点では、組積造壁に鉄筋コンクリート造の床を張るというハイブリッド構造は、近代建築構造の試行錯誤、あるいは過渡期に咲いた徒花と言えるのかもしれない。

⁶ NTTファシリティーズの吉岡康浩氏のご協力により、保存図面を閲覧できた。

⁷ 張菅雄、遠藤金之助、藤田金一郎『高等建築学第19巻』（常盤書房、1933年）、pp.211-346。

公益財産法人 松井角平記念財団 平成 30 年度研究助成 研究報告

研究課題： 七面山敬慎院社殿の研究 ―日蓮宗における七面神信仰の建築について―

代表者： 芝浦工業大学 建築学部教授 伊藤洋子

助成期間：平成 31 年（令和元年）4 月～令和 3 年 3 月

（1）はじめに

本研究は七面神信仰の本拠である敬慎院七面山本社に関する研究である。七面神信仰は日蓮宗が包摂する諸神信仰の一つであり、17 世紀以降、山梨県や江戸市中において盛んとなった。同社は山上の境内とともに身延山久遠寺の所有である。敬慎院は元来七面山の別当所を指し、別当は久遠寺により任命された。安永 9 年（1780）に再建された本殿（本宮）、天明 4 年（1784）から翌 5 年にかけて再建された幣殿および拝殿が七面神社の本社であり、敬慎院伽藍の中心をなす。本社は身延町指定文化財に指定されているが、車で行かれない山頂付近に境内があるため、建築の実地調査が十分ではない。

『身延山諸堂記』によると七面山本社は、身延山棟梁・池上勘解由の建築である。かつ奥之院本堂（明治 20 年）、敬慎院和光門（大正元年）、同隨身門（大正 10 年）などの近代和風建築も複数ある。

実測調査により身延町指定文化財にとどまる七面山本社の再評価をおこない、かつ近代和風建築としての奥之院本堂等の建築評価を実施すること、さらに近世の雛形にある「七面造」と七面山本社の建築の関連を考察することが目的である。

この目的に従い、下記の通り実測調査をおこなった。なおここでは七面山本社を中心に報告する。

調査日：令和元年（2019）7/25～27

調査対象：敬慎院本社本殿・幣殿・拝殿・古仏堂・釈迦堂・奥之院・隨身門・和光門

（2）七面山・七面神信仰および敬慎院社殿の概要

2-1. 七面山・七面神信仰

七面山は山梨県の南西部、南アルプス連峰に属する最高標高 1989 メートルの山で、日蓮宗蓮宗における山岳信仰の霊場である。古くから雨畑村（現早川町）の村民に祀られてきた池大神を中心とする龍神信仰や修験者たちによる山岳信仰、御来光信仰の聖地であり、やがて久遠寺の守護神として七面大明神を祀るようになった。深草元政による寛文 6 年（1666）刊行の『七面大明神縁起』によると、建治 3 年（1277）の頃の日蓮と七面神との邂逅が書かれているが、それは伝説とするのが通説のようである。久遠寺が所蔵する七面大明神像に天文 13 年（1544）霜月吉日の銘文がみられること、天正 20 年（1592）12 月 8 日、日宝が七面天女（七面大明神）を勧請した曼荼羅本尊の記載から、七面山の信仰が身延山に取り込まれた時期は中世後期から近世初期にかけてと考えられている。

その後、江戸期における久遠寺の出開帳により広く庶民に知られるようになる。また徳川家康の側室である養珠院が元和 5 年（1619）、七面山に登詣を果して以降、七面山の女人禁制は解かれた。これに影響を受け、大奥女中の法華信仰の高揚も江戸期を通じてみられた。17 世紀後半になると京都深草山を初めとし地方にも七面大明神が祀られ始めている。

2-2. 七面山の建築概要

文禄 5 年（1596）、18 世日賢染筆の曼荼羅本尊に「七面大明神宝殿常住之守護本尊」の脇書があるため、この時に宝殿が存在していたことが明らかである。七面山本社の建築は延宝 3 年（1675）、身延 30 世日通の代に七面山では仏教寺院に付設された神社建築として本殿・拝殿・庫裏・客寮島の諸堂が新築・改築され伽藍が整備されるに至った。

後の安永 5 年（1776）10 月 12 日夜、大火によってこれらの建築は焼失してしまう。4 年後の安永 9 年に 47 世日豊は本殿を七面山に再建した。『身延山諸堂記』によると、この時再建された本殿（本宮）、天明 4 年（1784）から翌 5 年にかけて再建された幣殿・拝殿が敬慎院伽藍の中心をなす。棟梁は久遠寺の宮大工、池上勘解由である。拝殿・幣殿・本殿は昭

和 41 年（1966）に身延町の町指定文化財に指定されている。

（3） 七面山本社の建築調査結果

七面山本社は東面して建ち、向いにある石段を登ったところに隨身門があり、その先に遥拝所がある。ここからは富士山を拝むことができ、後方から御来光が指す。七面山においては彼岸の中日に富士山頂から上る御来光が隨身門を通して現在の社殿に差し込む配置とされている。

安永 5 年（1776）大火以前の規模は『身延山諸堂記』によると本殿が三間半×四間、幣殿が二間半×二間、拝殿が六間×四間で、再建後は本殿が四間四方、幣殿が四間×三間、拝殿が七間半×五間と記載され、前身建物より一回り大きい。

3-1. 拝殿

拝殿は天明 5 年（1785）に建立された、桁行 8 間、梁間 5 間、入母屋造、平入、檜皮葺の建築である。元々拝殿、幣殿、本殿ともに檜皮葺であったが、現在は拝殿のみが檜皮葺である。慶応元年（1815）、昭和 11 年（1936）、昭和 57 年（1982）にそれぞれ檜皮の葺替えを行い、平成 24 年（2012）に破風の修理を実施した。

屋根には正面側に千鳥破風を設け、向拝には唐破風を付ける。組物は出組で禅宗様木鼻、実肘木を持ち、中備は間斗束である。室内は円柱、畳敷に格天井である。

格天井には各格子に龍の絵が描かれている。宿坊から続く廊下から直接拝殿の畳敷きの室内へと入ることができ、回廊は正面から北にある日朗堂側の二辺に廻り、そこから日朗堂へと続く渡り廊下となる。

向拝は几帳面取の角柱に大斗・連三斗を載せ、身舎とは蝦虹梁で緊結される。軒は二軒繁垂木であり、向拝桁で飛檐垂木を打越し、先端にもう一段の垂木をつける。

18 世紀後期らしい意匠の大型拝殿であり、檜皮葺のまま維持された屋根正面の千鳥破風と唐破風向拝が強い印象を与える建築である。

3-2. 幣殿

幣殿も拝殿と同じ天明 5 年（1785）に建立された、桁行 5 間半、梁間 3 間半、両下造、銅板葺の建築である。当初は檜皮葺であったが、明治 18 年（1885）に銅板に葺き替えられた。平成 24 年（2012）にさらに屋根替を実施した。本殿と拝殿は円柱、軒は二軒繁垂木であるが、その間の幣殿は角柱、軒は一軒疎垂木である。梁間を 3 スパ

ンに分割し、中央に舟肘木を設ける。中央部の蟻壁には七面大明神が天女の姿に描かれ、天井は折上天井で、大きな龍を描く。脇の間の天井は折上格天井である。幣殿内には登高座や磬台、経机、卓が置かれる。古仏堂への廊下に繋がる。

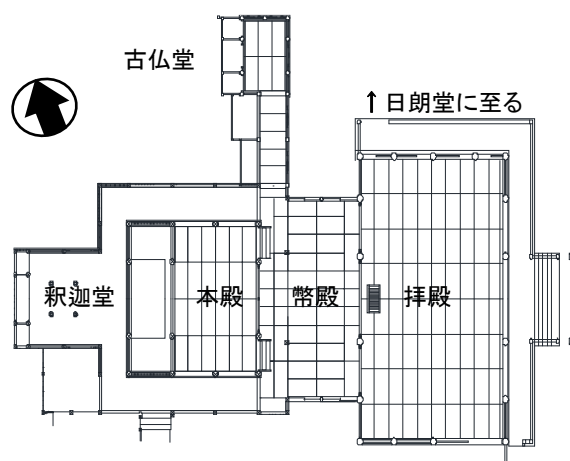


図 1 七面山本社平面図（上）断面図（下）



図 2 拝殿外観



図 3 拝殿内部



図 4 幣殿外観



図 5 幣殿内部

3-3. 本殿

安永9年(1780)の建築で幣殿・本殿より5年早い。桁行4間、梁間4間半、入母屋造、平入、銅板瓦棒葺である。幣殿同様、明治18年(1885)に銅板に葺き替えられた。平成28年(2016)に内部塗替・葺替を実施した。

屋根の正面側に千鳥破風を設け、そのため棟がT字形をなす。これは拝殿も同じであるが、後述する「七面造」の棟が十字形になることは異なる。円柱に台輪を置き、組物は三手先、禅宗様木鼻を持ち、尾垂木をつける。

本殿内部の床は幣殿と50センチほどの段差があり、幣殿からは三段ほどの階段で上る。本殿の内部は畳敷で、内陣、脇間、外陣に区切られるが、それぞれに折上格天井が設けられ、内陣のみ天井が高い。

幣殿同様、蟻壁には七面大明神が天女として描かれており、内外陣境の欄間は彫刻である。内陣の須弥壇に宮殿が載る。幣殿接続部以外の三辺に回廊があり、内陣後部の廊下より釈迦堂が併設される。この回廊部の天井は化粧軒裏で、地垂木、飛檐垂木を外から確認することができるが、壁外の地垂木の出が短く、縁廻りに後補として壁を立上げている。壁には禅宗様の花頭窓が設けられている。



図6 本殿外観



図7 本殿内部

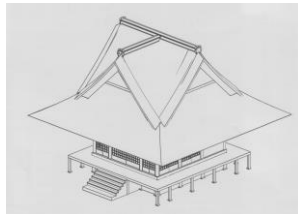
3-4. 本殿の復原

安永5年に発生した火災後にいち早く建てられた本殿がしばらく独立で建っていたことは明らかであろう。さらに当初縁廻りには壁が無かったと推察される。

以上による復原を図9に示す。内外陣が本殿のみで完結する形であり、三間仏堂の平面形状を呈している。



図8 本殿の外壁と垂木



(4) 七面造と七面山本社の建築

4-1. 七面造

江戸中期以降に七面信仰が流布し、江戸や京都、甲州南巨摩郡に七面堂建築が建設された。『建築大辞典 第二版』(彰国社



図9 本殿復原(上右:外観 下左:軒 下右:前面)

1993年)によると、「江戸時代に生まれた神社建築様式の一。浅間造の変形。この名称は日蓮宗守護神の七面菩薩から出たという。平面は十字形。正面中央に唐破風の向拝を付ける。主屋は平入り、入母屋造り。屋根上に方形造りの楼を載せ、楼は正面千鳥破風、両側面は軒唐破風とする。」とある。

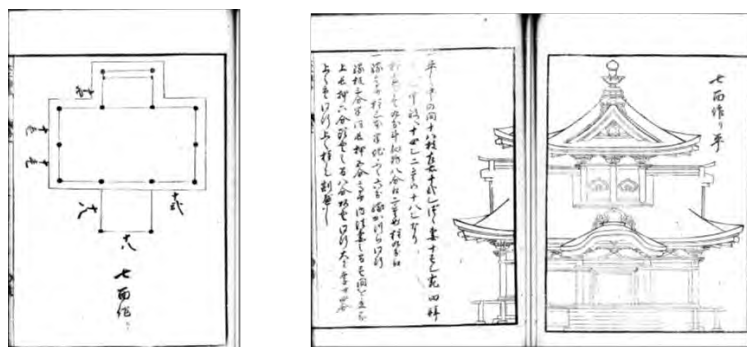


図10 『新撰雛形一、宮形』「七面作り平」

この記述が依拠したと考えられる一つが『新撰雛形一 宮形』のうち「七面作り」である(木暮甚七・須原屋 宝暦9年(1759))。また葛飾北斎による『北斎漫画 八編』にも「七面作」の絵が載せられている。現存してないが、実例として万治元年(1658)~3年(1660)の間に建立された呉羽山七面堂がある。これらは七面山本社の形態とかなり異なる。

4-2. 七面山本社の建築の変遷

現在の本社の建築は慣例的に七面造と呼ばれているが、前述の七面造の様相とは異なる。何故、いつ頃からそう呼ばれるようになったか定かではない。ここでは安永5年(1776)の火災焼失より以前について時代順に延宝3年の整備前【~1675】、整備後で安永5年(1776)の火災焼失より前の期間【1675~1776】の2期に分けて本社建築の変遷を記載する。

4-2-1. 延宝3年の整備前の建築【～1675】

久遠寺が所持する七面山が描かれている最も古い絵図に「身延山絵図屏風」(図11)がある。従来成立年代に二説があり、一説に28世日叟上人在世時、万治3年(1660)から寛文7年(1667)成立、他の説は30世日通上人代、寛文12年(1672)3月から延宝7年(1679)2月の成立としているが、いずれも17世紀後半である。

一之池が描かれておらず、現在は平地に整備されている山頂付近の整備がなされていないように見える。「七面明神」の文字のある堂は平入の入母屋造で、四周に縁が廻り、鳥居の先にある。単層の建築であり、七面造の特徴である二層の構成はみられない。またその奥に屋根が二棟見えていることから、七面山が整備され始めた頃とも推察できる。



図11 『身延山絵図屏風』(久遠寺蔵)

4-2-2. 伽藍整備後・火災焼失前の建築【1675～1776】

『身延山史』によると、延宝元年(1673)10月の大鐘堂に続き、同3年には本殿、幣殿、拝殿、廊下、御供所、庫裡、客殿、籠堂、池大神宮、隨身門、推鐘乃堂等、諸堂が建立され、8月に遷座式が執り行われた。なお隨身門と鐘堂は火災焼失を免れた。図12の『身延山絵図』は江戸中期に成立したと推定されるが、概ね宝永年間(1704～11)に描かれたとされる別の「身延山絵図」(西尾市岩瀬文庫蔵)と伽藍の様相が酷似していることから、ほぼ同時期と考えられる。図13も同様である。



図12 『身延山絵図』の大明神宮(久遠寺蔵)

それらには拝殿から伸びる廊下ないし幣殿、そして縁周りが高い本殿が確認できる。一の池の表現もされており、現在の配置図と大きく変わりはない。拝殿は平入で入母屋屋根と推定できる。拝殿の後ろに幣殿があるが、これは本殿の上の層に繋がっているように見える。本殿は平入で切妻造ないし流造の屋根形式、棟中央から幣殿にかけて降棟があり、先端には唐破風がある。床下は不明であるが、上層と下層の各屋根が二重に設けられる「七面造」とは形が異なっている。



図13 『身延山絵図』の大明神宮(久遠寺蔵)

現在の七面山本社とは異なり、火災焼失前の本殿は床高がかなり高かった。この形態の理由の一つは本殿の立地から来光を得ることと推察される。推論の域を出ないが、絵図に示される形態が七面山本社の前身であったことは注目に値する。

(5) 結び

七面山敬慎院本社の現存遺構は18世紀後期の建立で、屋根葺替や釈迦堂・古仏堂の付加、縁先の壁の増築などの改変があるものの、基本的形態をよく留めた大型社殿であり高く評価できる。現在「七面造」と呼ばれているが、その起源は分らない。建築雛形の「七面造」は一棟で完結する二層の建築であるが、現在の七面山本社は本殿・幣殿・拝殿が繋がる複合社殿でありすべて単層である。復原しても変わらない。この複合社殿を慣例的に「七面造」と呼んできた。

一方、七面山本社を延宝3年(1675)の伽藍整備前、整備後から安永5年(1776)焼失までの間の二期間について調べた結果、焼失前の姿は二層の建築ではなかったが、本殿が高い床をもつ特殊な形態だったことが分かった。拝殿から屋根の高い幣殿が接続し、床の高い本殿に続いている特徴は、複数の絵図で確認できる。この形態と雛形の「七面造」は同じでないことは明らかであり、「七面造」そのものの起源、そして両者の関連をさらに追う必要があるだろう。

【参考文献】

中尾堯「法華修行の霊場―身延・七面山」『日本の聖域 第三巻』
佼成出版社 1981
中尾堯「七面山の信仰」『富士・御嶽と中部霊山』名著出版
2004年
石川教張・宮川了篤「山岳信仰としての七面山」『身延山・七面山：内藤正敏写真集』所収、耕土社 1981年
宮川了篤・林是晋監修『法華経信仰の霊場 七面山』かまくら出版 1983年
望月真澄『身延山信仰の形成と伝播』岩田書院 2011年

『身延山史』1973年
林是晋『身延山久遠寺史研究』所収「七面山」他、1993年、平楽寺書店
『身延町誌』身延町誌編纂委員会編、1970年、サンニチ印刷
武内淑子『呉羽山の七面堂』2007年
望月真澄『近世日蓮宗の祖師信仰と守護神信仰』
平楽寺書店 2002年
渡辺洋子「山梨県南巨摩郡における在郷七面堂建築について」
日本建築学会計画系論文集 第495号所収 1997年

近世指図の作図技法と描法の展開に関する研究

ー建地割の編年指標における精度の向上ー

伊東龍一

1 研究の意義と目的

江戸時代の建築史研究において、建築図面はこれまでもよく利用されてきたが、作成目的や意図が明らかではなく、しかも作製年代が明記されていない場合が多く、作成年代すら不明のまま利用されて来たこともあった。歴史研究において、利用する史料の作製目的や意図、作製年代などの考察は、史料批判として不可欠な手続きである。

そこで、これまで次の2つの目的を掲げて研究を進めてきた。1つは建築図面のうち、現代における断面図、あるいは立面図に相当する近世の建地割について、その作図技法・描法を調査・分析することにより、図の作成目的・意図を明らかにすることである。もう1つは、中世、近世の初期から後期までの作図技法・描法の変遷を把握することにより、作成年代が記されていない図の時代判定を可能にする指標を見出すことである。その結果、これまでに、ある一定の成果を上げることができたが^(注1)、本研究の目的は、これら二つの目的に対する内容をさらに充実させることにある。

一つ目の目的に対しては、次のその性格を把握しかねていた二つを対象に研究を進めた。一つは京都府立京都学・歴彩館所蔵「宝永度後桜町院御所建地割 寅年」である。もう一つは、叡山文庫蔵の根本中堂と大講堂の建地割である。後者については、研究協力者である多米淑人が中心となった研究がある。興味深い新たな問題点をも提供する内容であるが、日本建築学会に発表している内容でもあり、ここでは簡略に注で触れるにとどめることとし^(注2)、ここでは、前者に限って論ずることとする。

二つ目の編年指標の精度の向上については、調査の継続により建地割のデータ数を増やすことができ、結果的にはこれまでの指標に大きな変更を加える必要はなく、指標の有効性が確認された。後半で新しい調査結果を加え、改めて編年の指標を整理したい。

2 京都府立京都学・歴彩館所蔵「宝永度後桜町院御所建地割 寅年」の作成目的

1) はじめに この図は通常の建地割のように、建物の立面図や断面図、または矩計図、あるいはそれらの一部といった図ではない。縮尺は1/1、すなわち原寸図で、地形（グラウンドライン）から石口、敷居、鴨居、内法長押、内法貫から桁までを描く一種の棒矩計に近く、図の表面に2つの図、裏面にも2図を描き、この4図に多数の御殿や付属屋、それらを繋ぐ廊下等の情報をほぼすべて盛り込んでいる。今回の研究は、この図を取り上げて、この図面の作製目的や意図を明らかにしたい。分析に当たっては「宝永度後桜町院御所水道絵図」（中井家文書 架蔵番号 50 京都府立京都学・歴彩館所蔵）や「仙洞御所（宝永度（明和）後桜町院御所）指図」（内題「明和年中仙洞御所御新造繪図 中井扣」、木子文庫 東京都立中央図書館特別文庫 図1参照）を個々の御殿・建物の位置の確認に用いた。

2) 史料の概要

宝永度（明和）後桜町院御所の造営は、桜町院御所の敷地を用いるが、主要な御殿はほど

んど新造するものであった。明和5年(1768)の暮れから準備が進められており、明和7年3月に鉦始があり、5月に立柱、9月に上棟し、翌8年正月5日に地鎮祭が行われ、同月25日に竣工した御所に後桜町院は移徙している(注3)。

「宝永度後桜町院御所建地割 寅年」は、京都府立京都学・歴彩館が所蔵する元京大工頭中井家蔵の図である。法量は30 cm×450 cm。細長いポロポーションの図で、それも棒矩計に似た図を原寸で描くためである。

3) 図の表面の内容

図面の表面には、左右に2図が描かれる(図2参照)。

左図は「四御殿」の高さ関係寸法を示す。四御殿とは、後桜町院御所の南側に建ち並ぶ規模の大きい主要御殿で、東側から①常御殿、②御書院、③小御所、④弘御所の順で建ち並ぶ。最も下部の「地形」から礎石の上端である「石口」、その上に「まんちう形」(亀腹)を描き、続いて亀腹上の「四御殿石口」を描く。さらに階、水貫、縁葛、足、

固、腰長押、敷居、建具、鴨居、内法貫、内法長押、木格子、小壁、組物、小壁、天井長押、蟻壁、廻縁、天井格縁、天井板、化粧桁、垂木、化粧木舞、化粧裏板等を描く。

右図には、四御殿以外の建物の高さ関係寸法が示される。まず、石口の高さを四御殿と同一とする建物群の石口が示される。①「四御殿落椽」「御車寄廻り」「中門廊殿上公卿渡殿」「御献之間并廊下廻り」「常御殿西御物置」「常御殿と御書院江廊下御東司共」「奥之口」「伺候之間并廊下廻り」「御料理之ま非蔵人部屋廻り」「御休息所并物置廊下廻り」「番衆所御客之ま廊下廻り」以上の石口である。後桜町院御所の敷地は凡そ南下がりになっているようで、これより北側の建物は石口高さが高い。続いて下から順に、②「男居」③「御車寄 御東司」④「革盤」⑤「御湯殿并御椽廊下」⑥「御仏立」⑦「勘定所御膳番部屋賄所認所廻

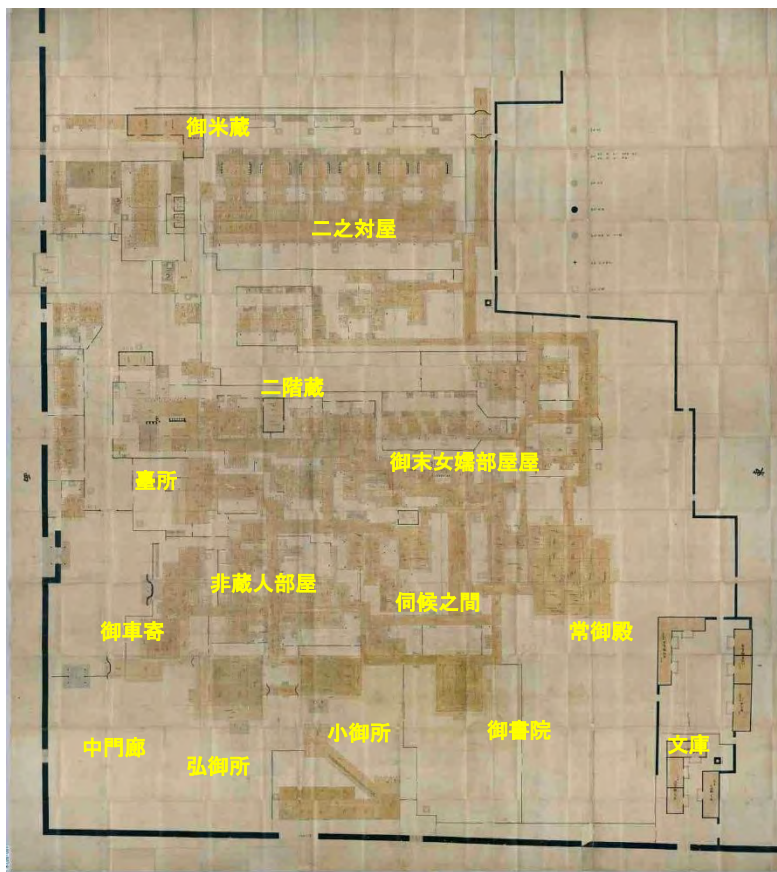


図1 「仙洞御所(宝永度(明和)後桜町院御所)指図」(内題「明和年中仙洞御所御新造繪図 中井扣」、木子文庫 東京都立中央図書館特別文庫)



最上部

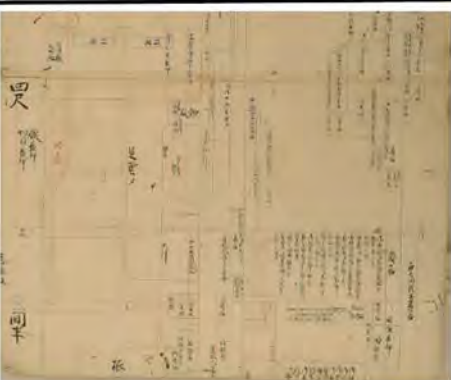
左図：四御殿の化粧桁部分

右図：すでにこの下の高さで桁も収まり、図はない。



中略

左図：四御殿の鴨居部分 右図：その他の内法上部



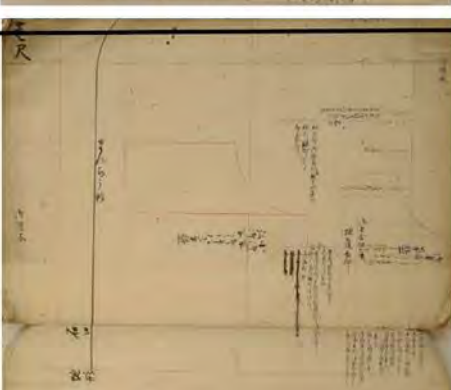
中略



石口から5.1尺の「本水」の朱線

図は四御殿の建具部分

左図：四御殿の敷居高さ 右図：その他の敷居高さ



中略

最下部

左図：四御殿の地形および石口 朱で礎盤を描く

右図：その他の建物ごとに石口の高さを示す

図2 宝永度後桜町院御所建地割

り御臺所」⑧「御末女婦部屋并東廊下」⑨「湯殿雪隠」⑩「御物仕部屋方二筋廊下迄廊下」⑪「一之対屋中湯殿」⑫「御物仕部屋并中居部屋雑部屋奥部屋」⑬「一之対屋臺所并上湯殿」⑭「一之対屋上ノ間」⑮「一之対屋玄関」⑯「二之対屋三口雪隠」⑰「二之対屋上屋并西三口雪隠」⑱「二之対屋下屋并取合ノ玄関共」⑲「絶間取付石口」⑳「有来御廊下石口」の石口が示される。以上より、敷地の高低差に従い、建物の石口高さは20種に整理されて御殿が設計されたことになる。四御殿の石口やそれと同高の①の建物群の石口から⑳の石口まで凡そ2尺6寸9分程の高さの違いがあり、それだけ敷地に高低差があることになる。

石口の高さは敷地に合わせて変えるので20種の高さがあったが、敷居の高さは、例外的な高さの建物が無いわけではないが、大きく2種に整理されている。3尺0寸7分程のA群と、3尺5寸程程のB群である。A群には「御仲居」「御清所」「御膳部屋板元部屋」「御勘定之所」「醫師所并詰所小間丈部屋」「口所常燈部屋東廊下北廊下」「口所認所仕丁頭部屋」「御臺所」「錠口方御臺所迄大廊下」「御物置小廊下江御仲所方廊下」あり、B群は、「御車寄并外椽口北面詰所物置廊下共」「公卿之間」「御休息所并廊下非蔵人詰所物置共」「御料理之間内之口常燈部屋非蔵人部屋并東廊下共」「番衆所御客之間并南廊下西廊下共」「伺候之間溜之御間御料理之間江廊下共」「御物置之北廊下押入共」「奥之口男居并東廊下樽板間常燈部屋共」「錠口之間御膳所共」「奏者所休息所溜之御間東之脇之間共」がある。

右図も、左図と同様、各部材が取り付く高さが示されるが、敷居の上の位置に「鴨居内法寸法何連茂六尺壹寸／中敷居内法何連茂四尺／中連子内法何連茂三尺／上連子木格子内法何連茂一尺八寸／湯殿雪隠鴨居内法何連茂五尺八寸」と記されている。これから、石口高さや敷居高（床高）は各々の建物で異なるものの、敷居上端～鴨居下端の内法高（6尺1寸）、中敷居内法（4尺）、中連子内法（3尺）、上連子木格子内法（1.8尺）に基準となる寸法があることが分かる。

また、表面の左右の図には、四御殿の石口の位置から一尺毎に墨線が引かれ高さを示すとともに、墨線の左側に「壹尺」から「二丈四尺」まで、高さを文字で示している。高さを示す文字には、このほか「間半」「壹間」「壹間半」・・・「三間半」までの文字が半間毎に記される。これにも墨線が伴う。なお、高さ「壹丈三尺」の文字の横に「二間」と併記されるので、一間は6.5尺、すなわち京間であることが判明する。さらにこれらとは別に、石口から5.1尺の高さに水平の朱線が引かれ、左側に「本水」と記される。「本水」は、後桜町院御所の勾配のある敷地に建つ各御殿・建物の高さ寸法を決定するための基準線とみられる。右図には、この本水を基準として、高さ1尺毎に短い朱線を引いて、本水から五尺以上の朱線には「五」「六」「七」のように数字を「十一」まで記す。

これは後桜町院御所の設計においては最も重要な四御殿は敷地高さは同一で、それぞれに設計するが、右図に示される四御殿に付属する建物は、四御殿との高さ関係を考慮して設計されたことを示すと捉えられる。なお、本水の位置は、「石之間外側腰貫」の上端高さに一致する。四御殿以外の建物の高さ寸法は、ここを基準に設計されたとも考えられる。

また、左図・右図とも御殿・建物の敷居上端および化粧桁口脇の高さに平行四辺形をした

記号を記している。高さの基準として重要な寸法であったためであろう。

4) 図の裏面の内容

裏面にも左右に2図が描かれる。左側の図は、「取次部屋」、「侍部屋」、「仕丁部屋」、「四脚門番所」やそれに付属する湯殿・雪隠の図、右側の図は、「清水継足御文庫」、「清水折廻御文庫」、「清水東南御文庫」、「大米蔵」、「賄所二階蔵」、「春屋御米蔵」、「御茶蔵」、「伺候之ま北二階蔵」といった蔵の図である。表面の図と比較して、高さ寸法を示す1尺毎あるいは半間毎の基準線は見当たらず本水を示す表現もない。いずれも御殿や他の建物との関係を考慮する必要が少なく、独立性の高い建物であるためであろう。

5) 本図の作成目的

これまでに知られる建地割とは異なり、本図は4図の中に敷地内の数多くの建物のすべてを描き、その高さ寸法を整理している。表の左図は四御殿を描き、右図は四御殿との取り合いを考慮すべき建物、裏面は左図に周辺の独立性の高い付属施設、右図に蔵を描いていた。とくに表面の2図は注目すべきで、「本水」という水平基準高さを設定して諸御殿の高さ関係を設計していた。また、多くの御殿に共通の寸法（床高、内法高等）をもたせる合理性もうかがえる。

このような図が数多く残されているわけではない。しかし、御所のような複数棟の建物を同時に造営する際の設計においては当然必要な検討が本図でなされていて、建築の現場に近い場面では同様の図が作成されていた可能性は高い。しかも縮尺は原寸で描かれている点は注目すべき点であるこれまで知られてきた江戸時代の図にはない特徴を備えている。

複数の建物の高さ寸法を調整していることがうかがえる図に、東京都立中央図書館特別文庫室の万延度江戸城本丸御殿の建地割類と「御本丸御座之間方御玄関迄御有形地下り絵図」(616-36)と「御本丸御座之間方大広間迄地下り絵図」(6165-50)がある。本丸御殿の敷地は南下がり、南側から大広間、白書院、黒書院、御座の間、御休息といった御殿が建ち並ぶ。敷地に高低差ができるので、各御殿の高さ寸法は、北側の御座の間石上端の高さの水平線（引き通し線）を基準として、そこからの高さで設計されている。大広間、白書院、黒書院、御座の間、御休息といった御殿の建地割には、この御座の間石上端引き通し線が描かれていて、高さ寸法が引き通し線からの高さで示されている。また、本丸御殿の南下がりの敷地の状況と御殿の位置、引き通し線の関係を示したのが、「御本丸御座之間方御玄関迄御有形地下り絵図」(616-36)と「御本丸御座之間方大広間迄地下り絵図」(6165-50)である^(注4)。このような検討は、高低差のある広大な敷地に複数等の建物から成る御殿を計画する際には不可欠で、その検討を図面化したものがあるのも当然である。

複数の建物から成る御殿の高さ寸法の設計に不可欠な検討を示した図である点で、江戸城万延度本丸御殿の図と今回検討した後桜町院御所の図は共通する。しかし、江戸城の建地割の多くが、1/10、1/20といった縮尺で描かれているのに対し、後桜町院御所の図は原寸図である。江戸城の図は、同じ内容の図が造営の現場にも持ち込まれたことが分かっているほぼ実施図であるといつてよい。それに対し後桜町院御所の図は、実施図以前に高さ寸法

を原寸で検討した図である可能性もあるが、原寸図であることを考えると、設計の内容がある程度固まった後に実際の部材に寸法をとってゆく際の検討に使用された図である可能性がある。

3 建地割の編年指標

これまでの研究で、建地割の編年指標としては、付属する平面図の有無、墨糸、墨差の使用の有無、朱線の使用の有無、図の名称を挙げることができるとしていた^(注5)。今回、その精度を上げるために建地割の調査を継続し、先に見た京都府立京都学・歴彩館所蔵「宝永度後桜町院御所建地割 寅年」、大田区郷土資料館の木原家文書中の日光東照宮をはじめとする建地割、都立中央図書館特別文庫室木子文庫の「仙洞御所・女院御所建地割綴（寛政度後桜町院御所・恭礼門院御所）」等を精査し、改めて検討を加えている。結果として、これまでの成果に大きく変更を加える必要はなかったが、それを確認できたことも大きな成果と考える。以下改めて建地割の編年の指標を整理すると次のようになる。

建地割とともにその建物の平面を描くことは、元和5年（1619）の「慶長度内裏女御御殿御休息之間建地割並指図」にみられるものが早く、寛文8年（1668）の出雲大社本殿ほか建地割までみられる。作成年代が特定できないが、大田区立郷土博物館木原家文書の日光東照宮等の建地割にもみられる。

墨糸の使用はほぼ中世に限られている。ただし、平面図である指図での使用は、山口県立図書館の元和の毛利家の指図にもみられるので、江戸時代初期までは使用されていた可能性は残る。墨差も中世の図に多い。しかし、天明3年（1783）の柞原八幡宮（大分県）の建地割には使用が認められる。

朱を用いた線や文字が使用された図で最も古いのが、元禄15年（1702）の出雲大社図（東京国立博物館所蔵）で、それ以降の建地割に使用が確認できる。

寸法の記入は、中世の善光寺の建地割にすでにみられるが、それを除くと最も古いのが元禄15年の出雲大社図となり、それ以降の図に認められる。朱線は立面背後の本来見えない位置にある屋根、破風、小屋組、軒等を描くことが多い。

建地割の名称を探ると、「地割」とする例が寛永21年（1644）の日御碕神社の図にみられ、寛文7年（1667）の「北野天満御社立地割并社堂間数目録」では、「立地割」が用いられる。弘化2年（1840）や万延元年（1860）の江戸城本丸御殿の造営に際して作成された図は「建地割」と記され、万延度の江戸城本丸御殿造営に際しての「御普請絵図類仕立方」（『東京市史稿 皇城篇三』1912年 所収）によれば「建地割絵図」とある。

以上の指標は、すでに伊東の科学研究費補助金による基盤研究（B）（一般）「近世指図の作図技法・描法の展開に関する研究Ⅴ - 建地割の編年指標の再検討 -」の研究成果報告書（令和元年）に記したところと結果的には変わらないが、その後の建地割調査の成果を加えての検討を加えてもその内容の変更を加える必要がなかった。

表 1 建地割にみられる作図技法・描法

作図時期 (西暦)	建物名	図面種類	縮尺	平面の有 無	墨糸	墨差	朱線	寸法記入	名称	作図者	所蔵先
享祿4年 (1531)	善光寺造 営図 鐘樓 建地割図	立・断面	1/10	×	×	○	×	×	×	善光寺 大 工	善光寺
享祿4年 (1531)	善光寺造 営図 樓門 建地割図	立・断面	1/10	×	×	○	×	×	×	—	善光寺
享祿4年 (1531)	善光寺造 営図 四脚 門建地割 図	立・断面	1/10	×	×	○	×	○	×	—	善光寺
享祿4年 (1531)	善光寺造 営図 回廊 建地割図	立・断面	1/10	×	×	○	×	×	×	—	善光寺
享祿4年 (1531)	善光寺造 営図 熊野 三社建地 割図(平)	立・断面	1/10	×	×	○	×	×	×	如来大工 遠江守	善光寺
享祿4年 (1531)	善光寺造 営図 熊野 三社建地 割図(妻)	立・断面	1/10	×	×	○	×	×	×	—	善光寺
享祿4年 (1531)	善光寺造 営図 神明 社建地割 図	立・断面	1/10	×	×	○	×	○	×	—	善光寺
天文4年 (1535)	宇佐宮上 宮指図	立・断面	1/10	×	○	○	×	×	×	大工 藤原 次良左衛 門	宇佐神宮
永祿2年 (1559)	談山神社 本殿造営 図並所用 具図 建地 割図(断面)	立・断面	1/10	×	○	○	×	×	×	—	談山神社
永祿2年 (1559)	談山神社 本殿造営 図並所用 具図 建地 割図(背面)	立・断面	1/10	×	○	○	×	×	×	—	談山神社
元龜4年 (1573)	円覚寺仏 殿古図 地 割之図	立・断面	1/10	×	×	○	×	×	×	—	(高階家)
元和5年 (1619)	慶長内裏 女御殿 御休息之 間建地割 並指図	立・断面	1/10	○	×	×	×	×	×	(中井)	京都府立 京都学・歴 彩館
元和	江戸御天 守Ⅰ	立・断面		×	×	×	×	×	×	(中井)	中井正知
元和	江戸御天 守Ⅱ	立・断面	1/10	×	×	×	×	×	×	(中井)	中井正知
寛永3年 (1626)	二条御城 御天守	立・断面	?	×	×	×	×	×	×	(中井)	中井正知
寛永年 (16)	若州三重 之御天守	立・断面	?	×	×	×	×	×	×	(中井)	中井正知
寛永年(16)	若州五重 之御天守	立・断面	?	×	×	×	×	×	×	(中井)	中井正知
寛永21年 (1644)	日御碕神 社社殿地 割図 上御 本社御殿 地割	立・断面	1/10	×	×	×	×	×	地割	鈴木近江 守長次	日御碕神社
寛永21年 (1644)	日御碕神 社社殿地 割図 上御 本社拝殿 地割	立・断面	1/10	×	×	×	×	×	地割	鈴木近江 守長次	日御碕神社
寛永21年 (1644)	日御碕神 社社殿地 割図 三重 塔	立・断面	1/10	×	×	×	×	×	地割	鈴木近江 守長次	日御碕神社
寛永21年 (1644)	日御碕神 社社殿地 割図 多宝 塔	立・断面	1/10	×	×	×	×	×	地割	鈴木近江 守長次	日御碕神社

寛文7年 (1667)	北野天神 御社立地 割并社堂 間数目録	立・断面	?	×	×	×	×	×	立地割	加藤権右 衛門尉	中井正知
慶安3年 (1650)	長谷寺本 堂	立・断面	1/10	○	×	×	×	×			
寛文8年 (1668)	出雲大社 本殿ほか 建地割52 点	立・断面	1/20	○	×	×	×	×	×	鈴木近江 守長次	出雲大社
寛文9年 (1669)	比叡山・文 殊楼・根本 中堂他	立・断面	1/20	×	×	×	×	×	×	(中井)	叡山文庫
元禄15年 (1702)	出雲大社 図	立・断面	1/30 1/80	×	×	×	○	○	地割	甲良宗貞	東京国立 博物館
宝永	善光寺如 来堂古図 建地割図	立・断面	1/30	×	×	×	○	○	×	甲良宗賀	東京国立 博物館
正徳	江戸城御 天守之絵 図 平図	立面図	1/50	×	×	×	×	×	×	(甲良)	東京都中 央図書館
正徳	江戸城御 天守之絵 図 妻図	立面図	1/50	×	×	×	×	×	×	(甲良)	東京都中 央図書館
明和7年 (1770)	宝永度後 桜町院御 所建地割 図	断面図	1/1	×	×	×	○	○	×	(中井)	京都府立 京都学・歴 彩館
天明3年1 月 (1783)	由原ろうも ん	立・断面	—	×	×	○	×	×	×	矢楚重通 写之	柞原八幡宮
天明3年 (推定)	由原八幡 宮御本社 (宝暦元 年)	立・断面	—	×	×	○	×	×	×	矢楚内匠 重定作之 矢楚重通 写之	柞原八幡宮
寛政元年 (1789)	仙洞御 所・女院 御所建地 割經 (寛 政度後桜 町院御 所・恭礼 門院御 所)	立・断面	1/20 ほか	×	×	×	○	×	×	(木子)	東京都立 中央図書 館特別文 庫室
文化10年 (1813)	東別院本 堂建地割 図	立・断面	—	×	×	×	×	×	×	武内家	大分県立 歴史博物 館
天保6年 (1836)	石井大明 神御拜七 分之巻	立面図	1/7	×	×	×	×	×	×	武内家	大分県立 歴史博物 館
弘化2年 (1840)	江戸城本 丸関係建 地割図	立・断面、 立面	1/20 1/30	×	×	×	○	○	建地割	甲良若狭	東京国立 博物館
万延元年 (1860)	江戸城本 丸関係建 地割図	立・断面、 立面	1/20 1/30 1/50	×	×	×	○	○	建地割、建 地割絵図	甲良若狭	東京都立 中央図書 館特別文 庫室
天保14年 (1843)	大瀧神社 社殿絵図 (正面)	立・断面	1/5	×	×	×	×	×	×	×	大瀧神社
天保14年 (1843)	大瀧神社 社殿絵図 (側面)	立・断面	1/5	×	×	×	×	×	×	×	大瀧神社
江戸中期 以降か	台徳院総 門建地割 図	立・断面	1/10	×	×	×	×	×	×	(甲良)	東京国立 博物館
江戸中期 以降か	台徳院総 門建地割 図	立面図	1/10	×	×	×	×	×	×	(甲良)	東京国立 博物館
江戸中期 以降か	増上寺本 堂建地割 図	立・断面	1/50	×	×	×	×	×	×	(甲良)	東京国立 博物館
江戸時代	日光御宮 図	立・断面	不明	×	×	×	?	○	×	(甲良)	東京国立 博物館
江戸時代	日光御宮 図	立・断面	一部1/100	×	×	×	?	○	×	(甲良)	東京国立 博物館

江戸時代	方広寺大 仏殿諸御 建物并三 十三間堂 建地割図	立・断面	1/100 1/200	×	×	×	×	×	建地割図	(中井)	中井正知
江戸時代	大塔地割 図	立面		×	×	×	×	×	立地割 図	今井木工 右衛門(中 井)	中井正知
江戸時代	僧堂之図	立・断面		×	×	×	×	×	図	(中井)	中井正知
江戸時代	禅宗様仏殿	立・断面		×	×	×	×	×	×	(中井)	中井正知
江戸時代	五間三門建	立・断面		×	×	×	×	×	—	(中井)	中井正知
江戸時代	庫裏二十分	立・断面		×	×	×	×	×	×	(中井)	中井正知
江戸時代	自性寺立 面図	立・断面	不明	×	×	×	○	×	×	不明	自性寺
江戸時代	自性寺立 面図	立面図	不明	×	×	×	×	×	×	不明	自性寺
江戸時代	自性寺立 面図	立・断面	不明	×	×	×	×	×	×	不明	自性寺
江戸時代	日光東照 宮ほか	立・断面	1/50	○	?	×	×	×	×	不明	大田区立 郷土資料 館木原家 文書
不明	亭助翁五 重塔	立面図	不明	×	×	×	×	×	×	武内家	大分県立 歴史博物 館
明治時代	凌雲閣断 面図	断面図	1/20.	×	×	×	×	○	断面之図	武内家	大分県立 歴史博物 館

4 おわりに

今回の検討で対象とした建地割は、設計に関わる基本図と現実の建物との間を埋めるような役割をもつ図があったように思われる。これまで指図・建地割など、江戸時代以前の建築図面の研究を進めてきたが、図面にも様々な作成目的があったことが明らかになってきた。一方、建物の造営は、建築図だけでは実施が不可能で、ともに作成される建築図書とともにあって初めて可能になる。いかに建設が行われたのかというその全貌が明らかになるときはじめて図の果たした役割が浮かび上がるのであろう。コロナ禍で寸断され続けた研究であったが、研究の進展速度の鈍りは、そのせいばかりではなく、研究の核心に接近しつつあるためだと考えて、今後も調査・研究を継続したい。

注

- 1) 三宅 裕・伊東龍一・後藤久太郎・斎藤英俊・吉田 純一・松井みき子・山口俊浩「京大工頭中井家の建地割の作図技法・描法に関する検討：宮内庁書陵部内匠寮本を中心として」(日本建築学会大会学術講演会梗概集 pp. 229-230 2015 年)や伊東龍一「近世指図の作図技法・描法の展開に関する研究Ⅴー建地割編年指標の再検討ー」科学研究費助成事業(基盤研究(B)一般)研究成果報告書 2019 年など
- 2) 多米淑人・吉田純一・伊東龍一・斎藤英俊「近世指図の作図技法・描法の展開に関する研究 その3 『叡山文庫』所蔵の根本中堂と大講堂の地割図について」(日本建築学会大会学術講演梗概集 pp. 821-822, 2021 年)

この論文では、『叡山文庫』所蔵の根本中堂、大講堂のそれぞれの外観地割図と内部地割図は、図の様相から3つのグループ(A、B、C)に分けることができ、A→B→Cの順序で図の表現や墨書が綺麗かつ丁寧になっていること、それらがそれぞれ計画段階、

清書、清書の図面であるのではないかと推定している。

また、多米淑人・吉田純一・伊東龍一・斎藤英俊「近世指図の作図技法・描法の展開に関する研究 その4 『叡山文庫』所蔵の根本中堂地割図の縮尺について」

この論文では、『叡山文庫』所蔵の根本中堂の地割図6図は外題や内題の記述から1/20で描いた図面であると考えられていたが、各図面から割り出した各部材寸法の計測値を考察したところ、B、Cグループの外・内地割図の高さは1/20の縮尺で描かれているものの、横方向の柱間は6図いずれも約1/25の縮尺で描かれていることが明らかになった。しかしながら、その理由については未だ十分解明できていない。

- 3) 平井聖ほか『中井家文書の研究 内匠寮本図面篇 第6巻』中央公論美術出版 1981年 p. 60
- 4) 伊東龍一「江戸城関係図面と幕府作事方大棟梁甲良家」『城郭・侍屋敷古図集成 江戸城Ⅰ<城郭>』至文堂 1992年 pp. 255-257
- 5) 注1と同じ。

研究課題

中世興福寺の諸建築にみる復古思想の解明

研究代表者 海野 聡（東京大学大学院）

1. 研究目的・概要

中世において、大陸から新たに持ち込まれた大仏様や禅宗様が隆盛し、細部意匠は和様建築にも波及したことが知られている。いっぽうで興福寺ではそれ以前の伝統的な建築形式が堅持され、室町時代も同様であった。中世の興福寺以外でも近世における考証学や現代における復元など、伝統形式の継承や再興による〈復古〉は日本建築史を通じて行われてきている。ゆえに中世興福寺の諸建築と造営にかかわる文書を通して設計手法や背景を施主・技術者の両面から検討することで、日本建築史に通底してみられる伝統継承の思想と〈復古〉に対する技術的解釈の解明に迫る点は大きな意義がある。

中世の建築技術については、大仏様・禅宗様に焦点が当てられ、和様、特に奈良時代建築の継承という点には看過されてきており、大きな特色ある着眼点である。現存建築・文献資料・発掘資料・春日社寺曼荼羅・「興福寺建築諸図」（東京国立博物館蔵）などの絵画資料という多彩な資料を用いる本研究の研究手法は独創的である。

興福寺の鎌倉再建の現存建築としては、北円堂と三重塔が残り、これらの検討とともに、同時代、あるいは礎石を採用した〈復古〉的な建築を比較対象として、興福寺の中世における〈復古〉について検討する。また興福寺の中世の様相を知るうえで、主要な史料である「興福寺建築諸図」があり、ここには興福寺の中世以降の建物の情報を多く含んでいる。この「興福寺建築諸図」をもとに現存しない建築の情報も多く含んでいる。

2. 「興福寺建築諸図」について

この「興福寺建築諸図」は興福寺の図面及び書貫帳で、江戸時代の作成とみられる。享保2年（1717）の火災前後に描かれた建物の実測図または焼失後の再建計画図と推測され、現在は東京国立博物館に所蔵される。

この「興福寺建築諸図」に関する論考は濱島正士¹⁾、川上貢²⁾らの研究があり、食堂に関しては、古式を伝える建築図として拙稿でも取り上げている³⁾。この「興福寺建築諸図」の図は現況の実測図・修理計画図・再建計画図のそれぞれの性格を有している。

「興福寺建築諸図」は主に中金堂を含む一帯が失われた享保2年前後に描かれたものであるが、食堂は火災を免れている。それゆえ鎌倉再建の建物が残

っていた食堂・竈殿については、ここから鎌倉時代の再建建築の構造を知ることができる。

食堂は永承元年(1046)と治承4年(1180)の2回の焼失のみで、鎌倉再建の食堂は明治年間に中学校・県庁と利用されたが、その後、取り壊されて現存しない。竈殿も享保2年の火災では焼けておらず、食堂と同じく鎌倉時代のものがこの時にも残っており、その図面であるとみられる。これをもとに鎌倉再建の食堂・竈殿の様相を窺うことができる。

3. 興福寺の中世の再建

現存する興福寺北円堂・三重塔をもとに中世の再建における特徴を見てみたい。京下工・官行事所工・寺工らが興福寺の造営に参加したことが知られ、二つの技術系統があった。三重塔は「部材の寸法が細く、洗練・瀟洒」だが、北円堂は「力強い印象を与えるもの」で、これを京都系と奈良系の意匠の違いをよく示すものとする(24)。後者は寺家沙汰であったことが知られ、寺工の関与からも奈良系のもので、三重塔は京都系とみられる。

これを踏まえて食堂・竈殿をみると、食堂は鎌倉復興の最初期の養和元年(1181)に造営に着手し、同年10月3日には軒を張らない仮葺であるが、新造になっている。この時点では軸部は完成していたとみてよかろう。そのうえで「興福寺建築諸図」をみると、食堂は桁行9間、梁間5間の四面廂の柱配置で、入母屋造で描写される。二重虹梁豎首の構造で、妻飾りも豎首とし、軒は二軒で、出組で支え、中備は間斗束とする。軸部は丸柱を地覆・腰貫・飛貫・頭貫で固め、柱間装置は板戸とする。貫に着目すると、少なくとも妻側の梁間方向に飛貫と腰貫、入側柱の桁行方向に飛貫と腰貫を用いている。この二方向の貫は妻側で交わるとみられるが、梁間方向・桁行方向で高さが異なっており、背違いとすることで、柱位置で貫が同高で直交しない軸組としている。また側柱と入側柱をつなぐ繫虹梁の入側柱の端部が柱を貫通しており、入側柱筋の頭貫と組んでいる。いずれの虹梁尻も鯖の尾が付く。

同様に竈殿をみると、桁行9間、梁間4間で入母屋造とし、煙出しが付く。組物は平三斗、二軒とし、虹梁豎首で支える。軸部は丸柱を地覆・腰貫・頭貫で固める。竈殿の貫についても、外周の腰貫の高さが梁間方向と桁行方向で異なっており、背違いで納めている。また内部は入側柱の頭貫が桁行方向だけではなく、梁間方向にも入っており、さらに根肘木で支えている描写がある。この頭貫の上には斗を置き、虹梁を支えている。いずれの虹梁も鯖の尾が付く。

以上のように「興福寺建築諸図」に描かれた食堂・竈殿をみると、屋根形状や組物(25)などは古代にもみられる手法を用いており、全体的には「古代的」な外観を見せていたと考えられるが、虹梁尻の鯖の尾・背違いの貫など、細部では奈良時代の建築の形式を継承したのではなく、建設時の手法が用いられたとみられる。

4. 興福寺における〈復古〉思想

興福寺の鎌倉復興において、〈復古〉として何を目指し、どの程度、オリジナルが重視されたのであろうか。〈復古〉における取捨選択を通して、オリジナルの追求についてみてみたい。

まず「興福寺建築諸図」の食堂・竈殿を見ると、建築規模が一要素としてあげられる。規模に関しては、発掘調査を通して、規模の継承が明らかになっている。食堂の身舎を梁間三間とする構成は古代食堂の流れを継承するものである。

いっぽうで虹梁尻の鯖の尾など、当時の意匠を取り入れる部分もみられ、オリジナルに対する過度な追求はうかがえない。前身建物の焼失という歴史的背景もあろうが、細部に関しては、オリジナルと同時代の類例を参照するといった行為は志向しなかったのであろう。

鎌倉再建の現存建築をみると、北円堂では二重虹梁を用いており、構造強化を図っている。さらに古代の建築技術からの発展があり、入側柱筋では内法貫が内法長押の下方に表出し、内部空間には変化が窺える。これに対し、側廻りの内法貫は外観に表出しない配慮をしている。

鎌倉復興に限らず、中金堂・東金堂・五重塔・南大門では礎石が再利用されており、規模の継承が確認でき、建物規模はオリジナルの継承の重要な要素であったとみられる。中金堂に関していえば、「興福寺建築諸図」や「春日社寺曼荼羅」（鎌倉時代）の描写からみて、単層裳階寄棟造という姿が鎌倉・応永の再建で継承されており、奈良時代以来の姿を志向していると考えられる。

興福寺の〈復古〉においては建物規模や屋根形状などのおおまかな建物構成の継承が志向されたことは疑いなかろう。いっぽうで、そのオリジナルへの追求は現代の一部の遺跡復元にみられるような過度なものではなく、新しい技術や細部意匠の導入を許容するものであった。

5. 興福寺の〈復古〉の特殊性

興福寺では北円堂で貫が使用されていることが知られ、鎌倉時代の再建の竈殿でも、もちいられた可能性がある。同様の貫の使用の早い例としては平等院鳳凰堂の両翼廊がある。これは今後の研究課題であるが、本研究により貫の発生年代を考えるうえで、重要な視座が得られている。

また同時代の奈良の事例を法隆寺でみても、聖霊院や東院礼堂をみても、ほぼ古代の建築の形式で足固貫が一部、用いられる程度である。法隆寺の鎌倉復興には興福寺の工匠の関与がうかがわれ、全体としては古式を継承するという興福寺の〈復古〉の思想に通じる要素がうかがえる。

おなじく中世の大阪南部の密教寺院である金剛寺・観心寺では密教寺院とい

うこともあるが、平面的には中世の密教本堂の形式として礼堂付加があり、古代の状態をそのまま継承しているとはみがたい。さらに観心寺では双斗の中備が用いられており、新しい要素が取り込まれていた。

興福寺の〈復古〉の様相が特殊であることは、国分寺の再建からもうかがえる。周防国分寺は室町時代に再建、そして江戸時代に現在の金堂が建てられているが、同位置で継承されているものの、規模は大きく変わっており、近世寺院の特徴を示している。

以上の比較からも、興福寺の鎌倉復興における〈復古〉思想は南都諸寺や同時代の寺院と比べても特殊である。さらに同位置での継承がなされる事例はほかにもみられ、これも〈復古〉思想とも考えられるが、周防国分寺のように、建築形態や規模は大きく変わる者も多く、この点からも興福寺の例は特異であるといえる。

注

1) 濱島正士「「興福寺建築諸図」について」『東京国立博物館研究誌』461、東京国立博物館、1989年。本論文では「興福寺建築諸図」の内訳として名称・大きさ・種別・縮尺・年紀・大工名・備考の項目を示し、制作年次・制作者を示している。また同氏は『設計図が語る古建築の世界—もうひとつの「建築史」』（彰国社、1991年）において、享保の現況図と修理計画図の違いを示している。

2) 川上貢『建築指図を読む』中央公論美術出版、1988年

3) 海野聡「東大寺食堂にみる古代食堂の建築的展開について」『東大寺の新研究3 東大寺の思想と文化』法蔵館、2018年

「枝割制」再考

—「枝割制」の疑問と新たな平面寸法決定法の提案—

RECONSIDERING THE “SHIWARI SYSTEM”

The question of “SHIWARI system” and the proposal of a new plane dimensioning method

大上 直樹*

Naoki OOUE

Keywords : SHIWARI SYSTEM, KIWARI SYSTEM, FRONTAGE, Rafters pitch

枝割制, 木割術, 表の間, 垂木歩

はじめに

本研究は、中世社寺建築の平面寸法決定において常識とされる「枝割制」について、その疑問点を指摘し、「枝割制」に代わる新たな平面寸法決定技法を提案するものである。

「枝割制」とは、鎌倉時代後期ころに「六枝掛」とともに成立したとされる平面寸法決定技法で、1 枝寸法をはじめに定め、それに垂木数を乗じて柱間寸法を決定すると考える。

本来、社寺建築は表の間（正面間口）をまず決定し、順次小さい寸法を決めていくものであるが、中世の社寺建築の表の間は、古代のように完数値ではなく端数のつく値になるため、「枝割制」はそれをよく説明できる技法として、広く受け入れられてきた。最近では、中世仏堂だけでなく、禅宗様仏殿や法隆寺金堂までもが、「枝割制」であるとする論考が提示されている。

しかし、「枝割制」には多くの矛盾点があり、それらを説明するためには、本来の正しい設計法を明らかにしなくてはならない。

1 枝割制の疑問

1.1 近世以前の枝・枝割

「枝」は「シ」、「シュ」と呼び「支」、「首」が当てられる他、「本」、「挺」などがある。

「匠明」などの近世木割書、規矩術書においてその意味を検討すると、「枝」は垂木の本数を示す語彙で、現代のように垂木真々間の長さの概念はなく、垂木幅と小間を加えた値とも認識されていたことが窺われる。

1.2 近代の枝・枝割・枝割制

『文化財講座建造物 3』によれば、「枝割制」は「垂木の間隔を基準として、これから柱間寸法を定める技法」とされる。そうした理解の基礎は文化財建造物修理の蓄積の上に大森健二博士の「六枝掛」と「枝割制」によって軒廻りの整理されたとの解釈であった。その後、浜島正士博士の塔や、溝口明則博士の1 丈宛何枝という1 枝寸法の出自を問う解釈は、扇垂木の禅宗様仏殿や古代の法隆寺金堂までもが「枝割制」であると解釈が広がった。

他方、「枝割制」に疑問を呈する文化財建造物修理工事報告書は少なからず存在する（富貴寺本堂、不動院本堂他）。また、村田健

一は、溝口の『法隆寺の設計技術』の書評で、内容に触れず「枝割制」とはまったく逆の設計工程を主張した。しかし、否定しただけで、「枝割制」に代わる設計法の提示はおこなわれなかった。

1.3 「枝割制」の疑問

現代では「枝割」は「枝割制」と同じ意味で使われる。つまり、自律した垂木歩を先に定め垂木数を乗じて柱間寸法を定める意味である。しかし、江戸時代の木割書では柱間を何本の垂木で割込む、つまり垂木割の意味であり、まったく反対の解釈になっている。

また、垂木歩（1 支寸法）が端数のつく値である場合が多い。さらに同一建物の中で、柱間によって垂木歩が異なる点は、「枝割制」では説明ができない。

そのほか、近世の大工技術書を検討しても垂木歩を先決めする記述は確認できない。

2 本研究の視座

これまで矛盾がありながら「枝割制」が一定の正当性を有していたのは、鎌倉時代後期頃以降、表の間が整数値ではなく、端数のある値であったため、表の間が先に決定されたと考え難かったことによる。その原因は、緒寸法の捉え方に問題があったためと考えられ、本研究においては以下の4つの視座を明確にした。

2.1 平面寸法を押さえる基準の多様性

これまでは柱や垂木の真々だけを基準にしてきたが、近世木割書においても、以下の三種類の基準が確認できる。

中墨（真々）、ヲゼ（外法）、ダキ（内法）の3基準である。柱真は、柱を3基準に据えた後求められる。

2.2 度量衡の問題「裏目尺」の使用

中世では通常の尺より $\sqrt{2}$ 倍の長さである裏目尺が、平面寸法などにも使用されていたことを、近年の修理工事報告書で指摘されるようになってきた（十島菅原神社本殿他）。裏目尺は唐尺とも呼ばれ中国や沖縄で吉凶を占うのに使用される露般（斑）尺であった可能性がある。

裏目尺の使用は、建物全体の場合もあるが、建物で最初に定められる表の間に使用されてた可能性が窺われる。

2.3 境内の建物相互の関係性

* 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

社寺建築はそれぞれが自由に設計されているのではない。『匠明』においても七間堂以上の堂の場合五間大門とし、中央間は本堂より柱1本狭くするとの記述がある。

実際の遺構を調べてみても、神社本殿と拝殿や門、寺院本堂と門、鐘楼、塔の表の間には明快な比例の関係が認められる。したがって緒建築は「枝割制」が説く、垂木歩(1支寸法)から決められたのではなく、建築全体の規模を規定する表の間から定められたことが推察される。

2.4 整数比或いは比例論

「枝割制」を主張する溝口は、我が国の建築の設計において比例論は科学的根拠がないとするが、それは全くの間違いで、すべての寸法は表の間から比例によって定められる。もちろん近世木割書は比例による設計理論である。現代では簡単な比例(例えば3:2など)は認識できるが、少し複雑な整数比で表現することが少ないため、気付かないことが大変多い。

例えば、 $1:\sqrt{2}$ に按分する事例は、「延小目割」といい、様々な寸法決定に使用されている(塔の相輪の割付など)。

3 五間堂の平面寸法決定法

3.1 「枝割制」の否定と新しい設計法の提案

「枝割制」の問題点は、はじめに自律的に決定する垂木歩(1支寸法)に端数があること、同一建物で柱間によって垂木歩の値があることである。我々は疑問に思いながら、これらの点に目を逸らしていたのである。それらの事実ははじめに垂木歩が決められたことを否定している。また近世大工文書の検討からも、垂木歩は後に決定されてきたことは明らかである。

3.2 「柱間按分法」

本研究では新たな平面寸法決定法として「柱間按分法」を提案する。その基本は、建築の正面間口である表の間をまず決定し、それを按分して柱割をおこない、各柱間を垂木割をおこなうのである。したがって垂木歩は最後に求められる。現代の「枝割制」とはまったく反対の工程であるが、それが建物本来の設計の流れであろう。

なお、すべてが一様な流れではなく、基本的な流れに対し2つの二つの変化した工程がある。「基本型」、「枝数型」、「外法型」である。

「基本型」は、表の間を裏目尺(露般尺)完数で定め、整数比B:B:A:B:Bで按分して柱割をおこない柱を据える。次に整数比の値をn倍した値を垂木数として垂木割をおこなう(倍数は2~4が多い)。垂木数はnB:nB:nAnB:nBになる。柱割と垂木割の比が一致するから垂木歩はすべて揃う。垂木歩の値は端数のあるものとなないもの両方がある。

「枝数型」は、柱割までは「基本型」と同じであるが、垂木割を柱割の比と関係なく自由に決める。Y:Y:X:Y:Yである。したがって、各柱間の垂木歩は揃わない。一般には中央間で大小の値となる(柱割と垂木割の比は関係がない)。

「外法型」は、柱割までは「基本型」と同じであるが、端の柱の外側を表の

間の端に据えるのである。したがって端間の柱真は柱半分短くなる。中央間と脇間は「基本型」に準じて柱割の整数比にn倍した値を乗じて垂木数を決め、端間は任意の枝数で垂木割をおこなう。C:nB:nAnB:Cとなる。柱の径がちょうど垂木歩2本分であれば、すべての垂木割は揃うが、そうでない場合は端間が揃わない。

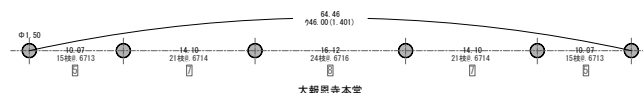
3.3 事例研究1 柱間按分法 基本型

大報恩寺本堂 鎌倉時代前期 安貞元年1227

表の間 裏目 46.0 尺(1.40) ()内は裏目尺への換算値

柱 割 5:7:8:7:5

垂木割 15 枝:21 枝:24 枝:21 枝:15 枝



その他、鎌倉~室町時代の40棟が「基本型」であることを検証した。なお、五間とも同じ柱間寸法とするものが3棟あり、この中に分類した。

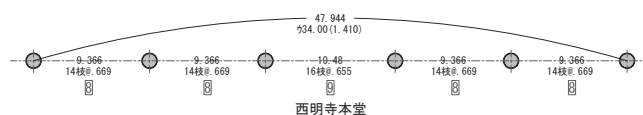
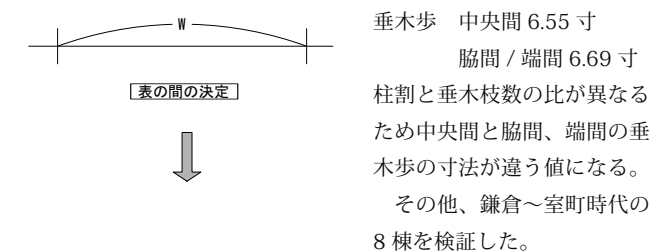
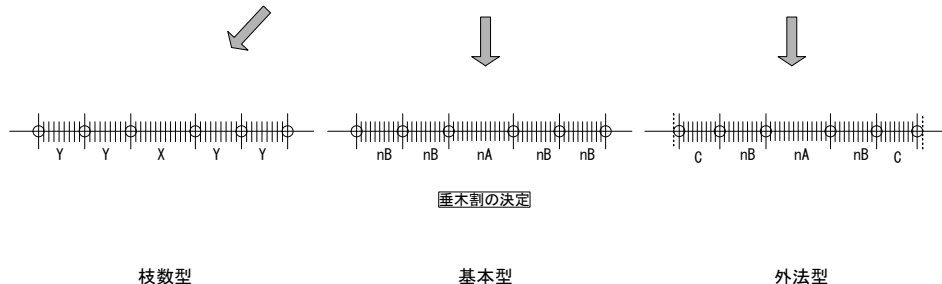
3.4 事例研究2 柱間按分法 枝数型

西明寺本堂 鎌倉時代前期 当初の五間堂時代の平面

表の間 裏目 34.0 尺(1.41)

柱 割 8:8:9:8:8

垂木割 14 枝:14 枝:16 枝:14 枝:14 枝



3.5 事例研究 柱間按分法 外法型

長弓寺本堂 鎌倉時代後期 弘安2年 1479

表の間 裏目 36.0 尺 (1.41)

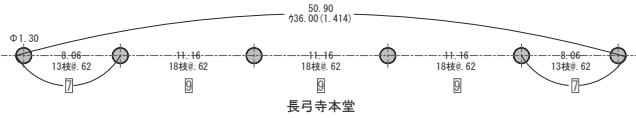
柱 割 7(ヲゼ) : 9 : 9 : 9 : 7(ヲゼ) ヲゼ=外法

垂木割 13 枝 : 18 枝 : 18 枝 : 18 枝 : 13 枝

垂木歩 中央間 / 脇間 6.20 寸

端間 6.20 寸 (柱径が垂木歩2つ分であるため歩は揃う)

その他 5 棟の遺構はすべて鎌倉時代後期に限られる。



3.6 総括

中世の五間堂 56 棟の平面寸法の決定法を検証し、「枝割制」では説明出来なかった矛盾点を「柱間按分法」で矛盾なく説明することができた。その内訳は下表のとおり。

時 代		基本型	枝数型	外法型
鎌倉時代	前 期	2	3	—
	後 期	8 (1)	—	6
室町時代	前 期	14 (1)	4	—
	中 期	9 (1)	—	—
	後 期	8	2	—
合 計		41	9	6

「基本型」は、垂木歩 (1 枝寸法) がすべて揃う平面寸法の決定法で最も棟数が多く全国に分布する。代表的な遺構は、長寿寺本堂、鏝阿寺本堂、浄土寺本堂、本山寺本堂 (香川)、新長谷寺本堂など。「枝数型」は、垂木歩が揃わない。近江、若狭地方に分布する。代表的な遺構は、明通寺本堂、法界寺阿弥陀堂、桑実寺本堂など。「外法型」は、端間で垂木歩が揃うものと異なるものがある。代表的な遺構は、霊山寺本堂、大善寺本堂、長保寺本堂などで奈良を中心に鎌倉時代後期だけに見られる。

4 七間堂の平面寸法決定法

4.1 柱間按分法

七間堂も五間堂と全く同様に「柱間按分法」で柱割、垂木割がおこなわれる。やはり、「基本型」、「枝数型」、「外法型」がある。

4.2 事例研究 1 基本型

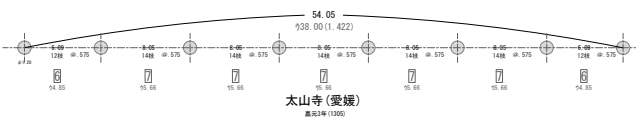
太山寺本堂 鎌倉時代後期 嘉元3年 1305

表の間 裏目 38.0 尺 (1.42)

柱 割 6 : 7 : 7 : 7 : 7 : 7 : 6

垂木割 12 枝 : 14 枝 : 14 枝 : 14 枝 : 14 枝 : 14 枝 : 12 枝

垂木歩 5.75 寸



4.3 事例研究 2 枝数型

常楽寺本堂 室町時代 延文5年 1360

表の間 48.0 尺 (1.416)

柱 割 9 : 9 : 9 : 11 : 9 : 9 : 9

垂木割 16 枝 : 16 枝 : 16 枝 : 20 枝 : 16 枝 : 16 枝 : 16 枝

垂木歩 中央間 5.515 寸

脇間 1 / 脇間 2 / 端間 5.638 寸



4.4 事例研究 3 外法型

観心寺金堂 室町時代前期 正平年間 (1346-1369)

表の間 裏目 46.0 尺 (1.42)

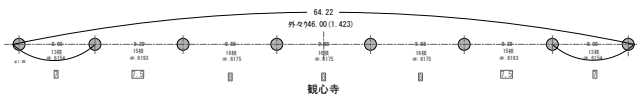
柱 割 7(ヲゼ) : 7.5 : 8 : 8 : 8 : 7.5 : 7(ヲゼ)

垂木割 13 枝 : 15 枝 : 16 枝 : 16 枝 : 16 枝 : 15 枝 : 13 枝

垂木歩 中央間 / 脇間 1 6.175 寸

脇間 2 6.193 寸

端 間 6.154 寸



4.5 総括

中世の七間堂 11 棟 (比較のため桃山期の園城寺金堂を加えた) の平面寸法の決定法を検証し、五間堂と同様に「柱間按分法」でよく説明出来ることを明らかにした。

時 代		基本型	枝数型	外法型
鎌倉時代	前 期	—	—	—
	後 期	1	1	—
室町時代	前 期	4 (1)	1	1
	中 期	1	—	—
	後 期	1	—	—
桃山時代		1	—	—
合 計		8	2	1

「基本型」の代表的な遺構は、延暦寺転法輪堂 (旧園城寺金堂)、金剛輪寺本堂、善水寺本堂、朝光寺本堂など。近江や瀬戸内地方に分布する。

「枝数型」の代表的遺構は、太山寺本堂 (兵庫)。

「外法型」は観心寺金堂 1 棟である。

5 柱断面寸法の決定法

5.1 近世木割書の決定法

近世木割書において柱の断面寸法の決定法は、通常の仏堂や社殿では中央間や脇間などひとつの柱間に寸数え (0.1 倍の意) などと係数を乗じるものと塔などでは総間 (土居) に係数を乗じる 2 種類がある。それらは簡易な方法と言えるだろう。

5.2 成岡家文書の三間堂の柱断面寸法の決定法

中世からの大工家の流れを汲む成岡家蔵の大工文書「鎌倉様御秘伝書」、「木割秘伝規矩」は慶長頃のもので (江戸末の写し)、古式な木割書と推察される。

三間堂については「三間割堂」とあり、「枝割制」ではないことが明らかである。また表の間 18 尺のとき柱の断面寸法は 0.42 を乗じて決定する。この係数 0.42 はどのような根拠で求められたのか検討すると、以前から筆者が考えていた「脇間整数比差法」で説明できることが判明した。

「脇間整数比差法」とは、三間堂の中央間と脇間の比（ともに真々）に対し中央間真々と脇間外法の比の差から柱の断面寸法を求める方法である。成岡家文書の18尺の三間堂を例にとると、

柱真々の比 7 : 10 : 7 … ①
中央間真々と脇間外法の比 3 : 4 : 3 … ②

②式は表の間の外法を示し①式は真々であるから、その差が柱の断面寸法となる。この式から表の間の真々に対し柱は、

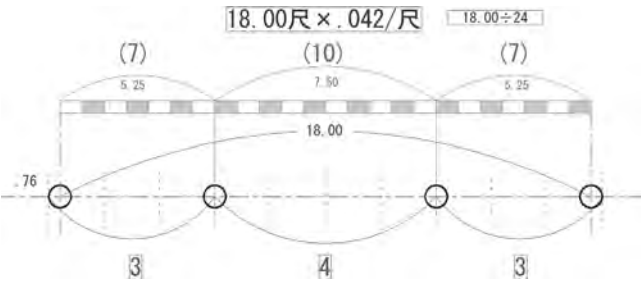
$$2/27 = 1/24 = 0.0416\cdots \div 0.042$$

となり、成岡家文書とおりとなる。またこの時中央間に対する柱断面寸法の比は、

$$2/20 = 0.10$$

となり、木割書でよく見られる比率となる。

この条件を実際の満たす遺構は、西願寺阿弥陀堂がある。



5.3 成岡家文書の五間堂の柱断面寸法の決定法

「五間割堂」では柱の断面寸法を表の間が31尺の場合、係数0.0265を乗じて決定する。これを「安き法」つまり簡易法という。

これも「脇間整数比差法」で導くことができる。木割書から、
柱真々の比 7 : 7 : 9 : 7 : 7 … ④

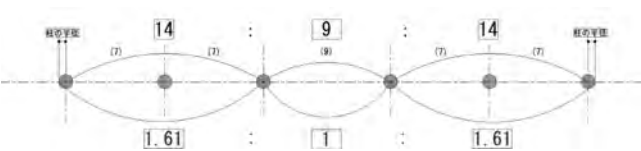
脇間、端間をまとめて 14 : 9 : 14 … ⑤

中央間真々と脇間外法の比を 1.61 : 1 : 1.61 … ⑥

と仮定して、⑥式から⑤式の差を取ると、柱の断面寸法を得る。

$$0.98/37 = 0.0264986\cdots \div 0.0265$$

⑥式の1.61は中央間に対して脇間を黄金比とした値である。



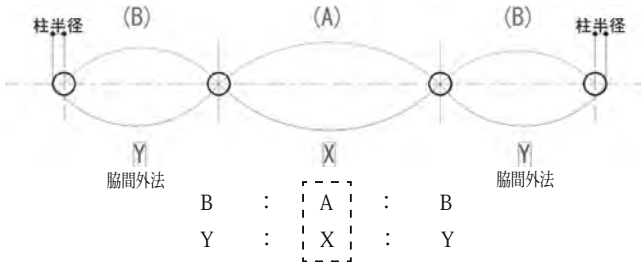
6 禅宗様三間仏殿の平面寸法決定法

6.1 三間仏堂の平面寸法決定法

三間仏堂の平面寸法の決定法は、「柱間按分法」と考えられる。はじめに表の間を裏目完数で定め、それを整数比で按分して柱割をおこなうのである。和様仏堂であれば、さらに各柱間を垂木枝数で除して垂木割をおこなう。さらに、柱の断面寸法は、「脇間整数比差法」で決定されと考えられる。

平面寸法と柱断面寸法の基本モデルと計算式を以下にまとめた。A、BやX、Yは比率であるが、中央間真々であるAとXの実際の長さは等しい。

柱真々の比に対し、ヲゼ真（脇間は中央間側が柱真、側は柱外法までと中央間真々）の比の組合せは、一義的に決まってい下表に示すパターンが考えられる。そこから柱の断面寸法は比率によって、以下の式で定められる。



表の間に対する柱径の比率

柱径/総間真々(R0)

$$\frac{2(BX - AY)}{X(A + 2B)}$$

中央間に対する柱径の比率

柱径/中央間真々(R1)

$$\frac{2(BX - AY)}{AX}$$

真々			外法・真々			柱径	
脇間	中央間	脇間	脇間外法	中央間	脇間外法	柱/総間	柱/中央間
B	A	B	Y	X	Y	R0	R1
4	5	4	$\sqrt{3/2}$	1	$\sqrt{3/2}$	0.051	0.132
7	8	7	8.5	9	8.5	0.051	0.139
9	13	9	3	4	3	0.048	0.115
2	3	2	6.5	9	6.5	0.048	0.111
4	5	4	6	7	6	0.044	0.114
7.5	9	7.5	8	9	8	0.042	0.111
7	10	7	3	4	3	0.042	0.100
2	3	2	5	7	5	0.041	0.095
3	4	3	4	5	4	0.040	0.100
1	$\sqrt{2}$	1	3	4	3	0.036	0.086
6.5	8	6.5	6	7	6	0.034	0.089
2	3	2	$\sqrt{2/2}$	1	$\sqrt{2/2}$	0.035	0.081
5	6	5	7	8	7	0.031	0.083
9	13	9	6.5	9	6.5	0.025	0.060

R0 は、表の間に対する柱断面寸法の比

R1 は、中央間に対する柱断面寸法の比

この柱間按分法によって、すべての禅宗様仏殿の平面寸法と柱断面が求められる。一部の遺構だけに可能な「枝割制」や完数などはない。本篇では中世の40棟の分析結果を一覧にまとめた。

6.2 事例研究

本篇では全遺構の分析結果を纏めたが、本梗概では代表的な遺構として正福寺地藏堂を掲げる。

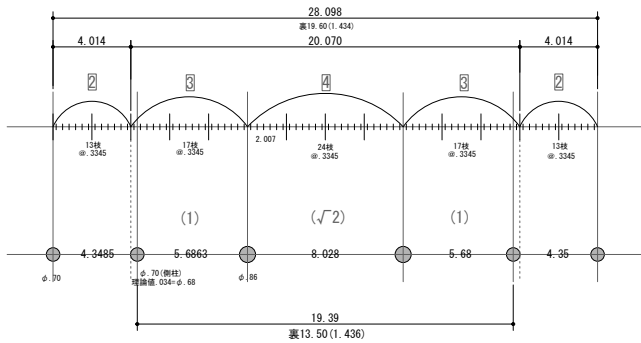
正福寺地藏堂 室町時代中期 応永14年1407

表の間 裏目 13.50 尺(1.44)

真々 1 : $\sqrt{2}$: 1

ヲゼ真 3 : 4 : 3

R0 = 0.035 R1 = 0.085



6.3 小 結

禪宗様仏殿 40 棟の検証の結果、すべてにおいて、「柱間按分法」、「脇間整数比差法」で柱割や柱断面寸法を導くことが可能であることを示した。

また、「アイタ」といっても、柱断面寸法を含めると3つのパターンが存在することも判明した。

近世木割書にみられる中央間に寸数えなども、「脇間整数比差法」で、その根拠を導くことができることを示した。

7 三間社の平面寸法決定法

7.1 三間社本殿の平面寸法決定法

これまで神社社殿も垂木歩に端数があること、中央間と脇間で垂木歩の値が異なることなどから矛盾点があった。

また、三間堂と同様に「柱間按分法」の可能性がありそうであるが、社殿は仏堂に比べ中央間と脇間の差があまりないため難しい。そこで「三分割法」を提案した。

設計工程は、まず表の間を裏目完数(尺乃至5寸単位)で定める。それを三等分して基準とする。柱断面寸法を定め柱の真、側面を三分割した基準に据える。その後柱真が決定され垂木割をおこなう。

さらに、はじめに定める表の間を内法とするものの他、外法、中墨の3つのパターンがある。

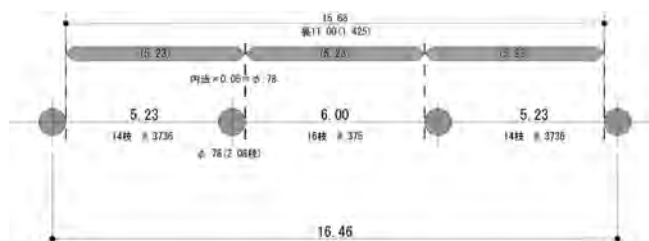
7.2 事例研究1 三分割法内法基準

大篠原神社本殿

表の間内法 裏目 11.00 尺 (1.43)

柱の断面寸法 表の間の 1/20

中一脇差 2 枝



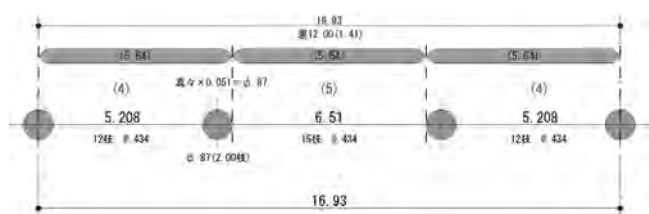
7.3 事例研究2 三分割法 真々基準

勝部神社本殿 室町時代後期 明応6年 1497

表の間真々 裏目 12.00 尺 (1.41)

柱断面寸法 表の間 1/20

中一脇差 3 枝



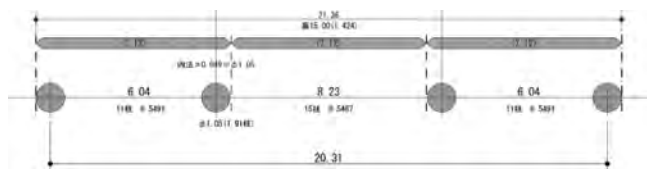
7.4 事例研究3 三分割法 外法基準

園城寺新羅善神堂 室町時代前期 貞和3年 1347

表の間外法 裏目 15.00 尺 (1.42)

柱断面寸法 表の間 1/20

中一脇差 4 枝



7.5 事例研究4 柱間按分法

三間社の一部には三間堂と同じ「柱間按分法」によると考えられる遺構も確認された。

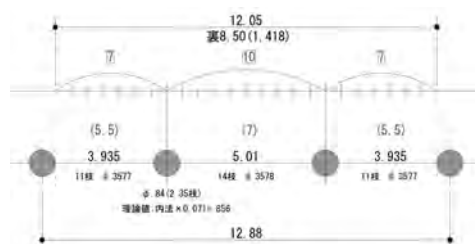
苗村神社西本殿 鎌倉時代後期 徳治3年 (1308)

表の間 内法裏目 8.50 尺 (1.42)

内 法 7 : 8 : 7

真 々 5.5 : 7 : 5.5

中一脇差 3 枝



7.6 小 結

今回は 22 棟の検証をおこない、「三分割法」が 18 棟で内訳は、内法基準が 13 棟、真基準が 2 棟、外法基準が 3 棟、「柱間按分法」が 4 棟であった。

「三分割法」、「柱間按分法」とともに「枝割制」では説明できない端数のつく垂木歩、柱間で異なる垂木歩を無理なく説明することができる。

8 塔の平面寸法決定法

8.1 塔の木割と既往研究

阿部家文書などの中世木割書における塔の木割では、垂木割は柱間の跡に記述されることから、垂木歩は「枝割制」の説く基準ではなく後決めである。しかし、浜島は、柱間が完数値でない場合は「枝割制」であると断じている。

本稿では、塔の平面寸法は、初層の規模、各層の減衰法と柱割、各層の垂木割の決定というプロセスで決定されていると考える。

8.2 層塔・多宝塔の平面規模の決定

塔の初層は、本堂など主要建物から決められることは『匠明』に、金堂中央間二間に揃える旨の木割があるが、石山寺本堂の中央二間(真々)と多宝塔の初層(外法)はよく一致する。

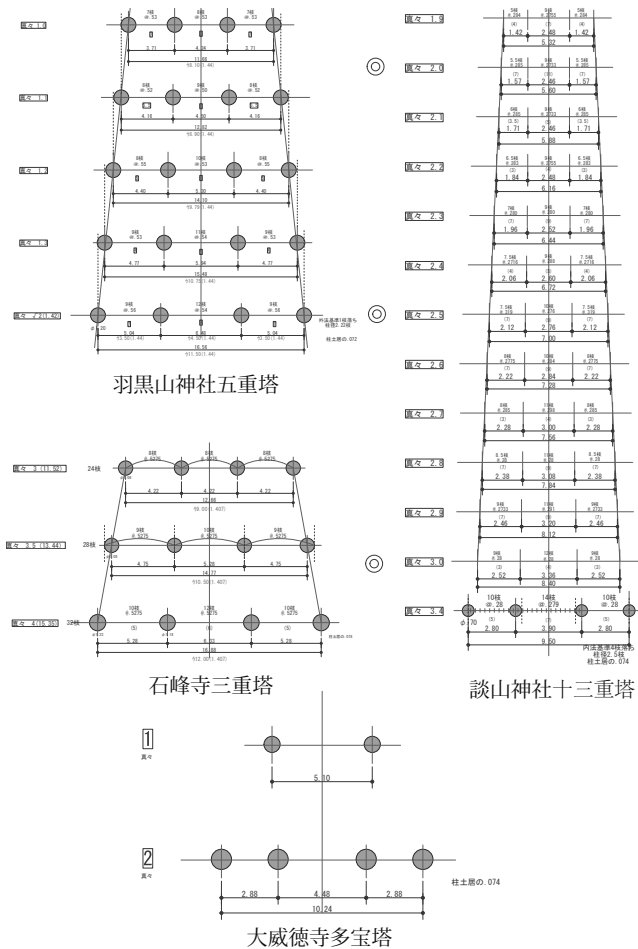
各層の減衰は「枝割制」に則り枝数を減じて決められるとするがやはり端数のつく垂木歩や柱間毎の垂木歩の相違は問題であろう。

最古の法隆寺五重塔の各層の減衰は、8 : 7 : 6 : 5 : 4 と完全に比によって決定されているが、他のすべての塔においてもバラつきはあるが整数比によって減衰すると考えられる。

各層の総間が決定した後各層ごとに柱割をおこなうが、それは「柱間按分法」によると考えられる。なお近世以降は平面を枝数で指定されている遺構が増えるが、これは垂木歩より巻斗を整然に揃えるのが目的であったと考えられる。

8.3 事例研究

五重塔 15 棟、三重塔 28 棟（八角塔含む）、多宝塔 15 棟、十三重塔を上記の仮説で分析をおこなった。代表的な遺構の分析図を下に掲げる。いずれの遺構からも「枝割制」で設計されたとは考え難いものであった。



9 古代寺院の平面寸法決定法

9.1 法隆寺

古代寺院の平面寸法は、「完数制」によるとされ、法隆寺の非再建論は高麗尺がその根拠とされてきた。本稿では、法隆寺は天平尺によるもので、「分割法」によって設計されたものとして新たな設計法を提案した。

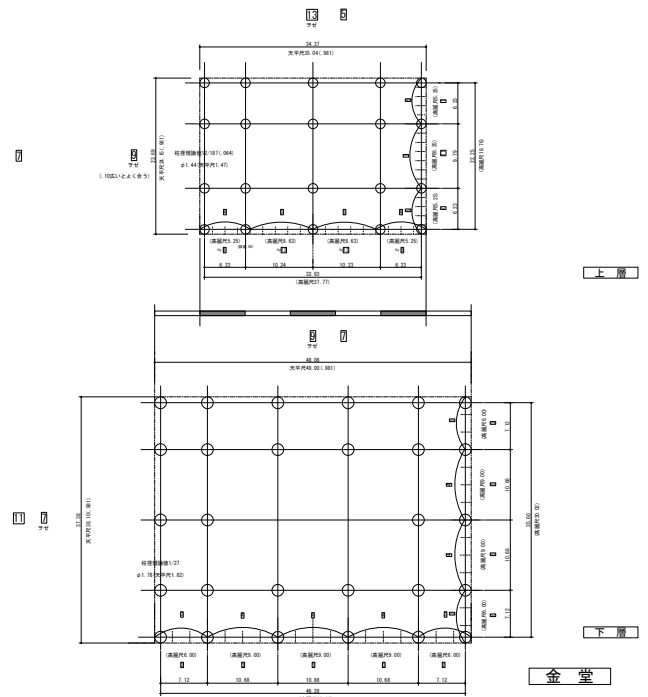
「分割法」とは、奈良代の五間堂以上の仏堂において表の間を 20 程度に分割し、それを基準に柱を真や外法、内法に据えて柱割をおこなうもので、神社社殿の「三分割」の規模の大きなものである。

法隆寺金堂の分析事例を下図に掲げた。

詳細は本編に譲るが基本のプロセスは以下の通りである（単位は天平尺）。

初層の表の間（ヲゼ）を 49.0 尺、側面（ヲゼ）は表の間に 9：7 で 38.1 尺に定める（49.0 尺の根拠は不明）。表の間を 18 分割し 3：4：4：3 に取り、側面は 14 分割し 3：4：4：3 に取り柱を据える基準とする。正面、側面ともに端の柱は表の間を外面に他は分割線上に据える。柱の断面寸法は表の間の 1/27 である 1.82 尺とする。

上層の表の間は、正確に下層の 5：7 で 35.0 尺、梁間は 9：



法隆寺金堂の平面寸法決定法

13(黄金比)の 24.15 尺とする。以降の柱割、柱断面寸法の決定は下層に準じて決定する。

9.2 その他の古代寺院の平面計画

同様に「分割法」によって、唐招提寺金堂、新薬師寺本堂の分析をおこない、詳細は本篇に述べる。

10 本研究のまとめ

10.1 枝割制が存在しないということ

現代の「枝割制」では、中世建築において垂木歩（1 枝寸法）に端数があり、表の間が古代建築のように完数にならないこと。また同一建物において垂木歩が異なる柱間が存在することが説明できない矛盾点であった。

また、近世木割書等古記録を検討しても、「枝割制」を比定しうる記述は認められず、「枝割制」は昭和 30 年代頃に文化財修理の中で考え出された技法と考えられる。

10.2 平面寸法の決定技法の提案

「枝割制」に代わる平面寸法の技法として、主に仏堂の計画には「柱間按分法」、三間社では「三分割法」、そして古代寺院には「分割法」を提案し、多く遺構で検証をおこない「枝割制」の矛盾点をうまく説明できることを示した。

また、「柱間按分法」と「脇間整数比差法」を併用することで、柱の断面寸法も同時に導くことが出来ることも明らかにできた。

以上により、現代では日本建築史の常識とされる「枝割制」は、存在した根拠がなく、矛盾した技法であることを指摘し、それに代わる平面寸法の決定技法を明らかにすることが出来たと思う。

謝 辞

本研究は松井角平財団の研究助成によって、まとめることができました。深く感謝いたします。

平成30年度 公益財団法人松井角平記念財団 助成研究「近代の文化財建造物の保存活用に関する基礎的研究 ー 神奈川県立歴史博物館（旧横浜正金銀行本店本館）を事例として」 研究実績要旨・概要書

大野敏*1・丹治雄一*2・守田正志*3・菅野裕子*4

はじめに。本研究の目的と方法

本研究は、神奈川県立歴史博物館として保存活用されている重要文化財旧横浜正金銀行本店本館の建築について、今後も健全な保存活用を推進するための管理活用計画策定にむけた基礎資料整備を行う。

具体的には本館建築資料の確認、実測平面図の作成、内部空間における履歴確認、類例調査も含めた本館建築の特質と今後の維持管理に向けた課題抽出、を行う。

1. 資料確認調査

神奈川県立歴史博物館所蔵の本館建築に関する維持管理関係資料の目録作成と内容確認を行った。概要は表1に示す。表1を含めた建築関係資料の状況は、旧横浜正金銀行本店本館の履歴を①創建から関東大震災直前まで、②関東大震災の被災から復旧工事まで、③復旧工事竣工後から東京銀行横浜支店時代まで、④神奈川県立博物館への移行から人文系博物館への改修直前まで、⑤神奈川県立歴史博物館への移行期以後、の5期において概観する。

①創建から関東大震災直前まで： 明治37年(1904)7月～大正12年(1923)8月

この時期における図面原図や設計資料は確認できなかった。すなわち、『横浜正金銀行要覧』(1904)および『建築雑誌』(1904)掲載の竣工時平面図や仕様等の情報を得ることはできなかった。

②関東大震災の被災から復旧工事竣工まで：大正12年(1923)9月～大正14年(1925)10月

先行研究において22件の資料の存在が確認済みであるが、整理番号22「本館改築に関する図面（部分図）」40点を目録化した。設備図面表紙1点、青焼図面あるいは青焼図面に描写や書込したもの39点で、図面内容は本館建築の床構造や鋼材補強関係4点、漆喰天井詳細図5点、建具や開口部関連図11点、電気設備関係図7点、空調・暖房関係図面3点、衛生給水関係図面9点、2階平面図1点である。すなわち資料名称のとおり本館改築すなわち震災復旧工事の設計図面の一部を伝えるもので、全体像を知りうるものではない。図面の種類は縮尺1/100の平面図を利用した図面13点、縮尺1/200の各階平面を1枚にレイアウトした図面4点、詳細図21枚、給水系統図1枚である。この中で本館建築を知るうえで重要な資料は平面図で、復旧修理における室名が把握できる。また各階平面図を描いた図1-29は1階平面図に壁の真々寸法が記され注目される（図1、寸法は尺らしい）。また、詳細図はそれぞれの具体的な工事内容が判明する点で貴重で、断片的な点が惜しまれるものの、「決定見積書」と照合することにより利用価値は高いといえる。復旧工事は大正13年夏頃から始まり、本店が営業再開した同14年10月22日までには終了していたと考えられる。

③震災復旧後～銀行として使用された最終期：

大正14年(1925)10月22日～昭和39年(1964)3月

表1 神奈川県立歴史博物館所蔵の旧横浜正金銀行本店本館関係資料 整理概要		
凡例 S55:昭和55年 H3:平成3年		
資料名称	点数	備考
図1	40点	既目録化資料(本館改築二間スル図面(部分図) 整理番号22(朱書)(横浜正金銀行)(マジック))。震災復旧工事図面の一部。当時の室名や壁真寸法の理解、工事内容の一部が判明。
中性紙	123点	東京銀行時代の設備管絃図面と譲渡直前の平面図。および神奈川県立博物館改修時に作成した平面図とドーム復元図。S42頃の「神奈川県立博物館改修工事の概要」(国建築事務所)。
箱1	17点	神奈川県立博物館時代の書類・図面。人文系博物館構想関係書類も含む。
箱2	19点	おもに神奈川県立博物館時代の管理・管絃関係書類と図面。一部に神奈川県立歴史博物館時代へ転換後の書類と図面も含む。
箱3	29点	神奈川県立博物館時代の管理・管絃関係書類と図面。S56バラベツ工事、S59シャッター塗装工事、S59エレベータ耐震工事ほか。
箱4	26点	神奈川県立博物館時代の管理・管絃関係書類と図面。設備点検改修と消防関係の種類あり。
箱5	38点	おもに神奈川県立博物館時代の管理・管絃関係書類と図面。他にS39横国大河合研究室の「I. 構造物耐久力調査」H5人文系博物館設備工事施工計画書。
箱6	9点	主に神奈川県立歴史博物館時代の消防・防災関係書類。一部の消防関係書類にそれ以前の神奈川県立博物館時代の書類含む。
箱7	17点	主に神奈川県立歴史博物館展示工事関係資料(H5～)。他に自衛消防関係資料(H2-57-8)ほか。
箱8	16点(内4点未確)	S40[博物館建物改修調査報告書]、神奈川県立博物館への改修工事関係書類・図面。S46シャッター改修写真。S59火災報知機改修工事関係。ほか
箱9	14点(他に未整理あり)	S42か「博物館建築改修工事(神奈川県立博物館改修工事の概要)中性紙010の複写」。神奈川県立博物館への改修工事関係書類・図面。S54改修工事写真。S56改修工事写真。
箱10	22点(他に未整理)	S63F博物館総合診断調査報告書。以下は神奈川県立歴史博物館への改修に関する展示関係資料主体。
箱11	9点	神奈川県立歴史博物館展示及び設備関係書類・図面が主体。
箱12	16点	神奈川県立歴史博物館展示及び設備関係書類・図面が主体。
S41改修工事写真35mmモノクロネガ	623カット	国建築事務所撮影の改修工事写真ネガ。2枚ずつ白黒プリントし、デジタルデータ化して神奈川県立歴史博物館と横浜国立大学にて保管。本館の構造・意匠や改修歴に関して貴重な写真が含まれる。

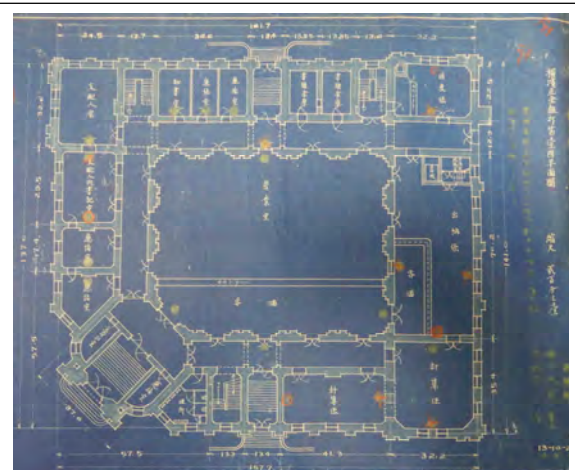


図1 横浜正金銀行本店本館震災復旧修理工事1階平面図

この時期の資料は、昭和 30 年代の設備改修関係図面 30 点・書類 1 点・平面図 4 点（うち 2 点は付属建物）・書類 1 点である。ここでは昭和 38 年 4 月 3 日付の縮尺 1/100「老階平面図」と同 39 年 1 月 10 日付の縮尺 1/200「東京銀行平面図」が注目される。前者はその後の本館平面図では意識されていなかった東面各室の歪み（南側へ向かうほど東西方向長さが少しずつ広がる）を描き、後者は地階～3 階までの室名が確認出来る点で重要である。確かに『横浜正金銀行要覧』・『建築雑誌』が伝える本館当初平面図は東面各室の平面を歪んで描いている。一方、神奈川県が本館を取得以降に作成した平面図はこの歪みを考えずに作図が行われている。我々も今回あらためて平面実測を行って、初めて東面各室における平面の歪みを確認した。この歪みがなぜ生じたのかは現時点では明らかでない。なお、昭和 38 年の「老階平面図」は、壁真基準の寸法表記も注目される。記載寸法を図 1 と比較した結果、東京銀行作成平面図は、既存図（大正 13 年の震災復旧工事図面まで遡る可能性がある）をもとに調整したと考えられる。

④神奈川県立博物館時代（準備期間含めて）：昭和 39 年(1967)4 月～平成 5(1993)年 3 月

神奈川県が東京銀行から建物と敷地を取得（買収）して神奈川県立博物館への改修整備事業を行い、総合博物館として公開してきた時代の資料は、概ね表 2 の中性紙資料以下の過半を占める。県立博物館構想の進捗経緯と旧横浜正金銀行本店本館の取得経緯に関する重要資料が含まれるほか、本館建築の実測調査や構造調査、ドーム復元などに関する委託調査の状況も把握できる。実測調査は平面実測のほか写真測量による立面図作成も企画されたが、立面図は確認できなかった。平面図も各階寸法を詳細に実測したものは確認できたが、平面図として完成された形式は確認できなかった。また、博物館改修工事の関係資料は、基本計画書と実施仕様書のほかに工事写真、設計図が断片的に確認できたが、一括した工事資料は認められなかった。ただし、当初の調査対象とは 35 mm モノクロネガフィルムの存在（博物館への改修工事の設計監理者であった国建築事務所から博物館が長期借用している。一部は工事写真に含まれる）が確認された。そのため本研究によりプリントと電子データ化を行った（表 1 の末尾）。

博物館開館以後、平成 5 年 3 月に人文系博物館への改修のため一時閉館に至るまでの期間は、設備関係の維持修理関係資料が目立ち頻繁に手が加えられていたことがわかる。建築本体の修理は昭和 50 年代半ばにバラベツトやシャッター修理が注目される。また、消防の点検書類や防災訓練関係の書類が良く残されている。以上の書類は、建物の維持保全に留意してきた歴史を知るうえで重要である。

⑤神奈川県立歴史博物館時代（準備期間含めて）：平成 5 年(1993)4 月～現在

人文系博物館への改修は、その構想段階において、重要文化財建造物の存在価値と公開義務、人文系博物館としての資料保存・公開の使命をいかに両立させるか、について多くの検討がなされた。

旧横浜正金銀行本店本館は、博物館転用後の昭和 44 年に重要文化財指定されたが、指定範囲は外観と 1 階旧正面玄関部分に限定されていた。しかし文化庁は震災修理の影響が大きいとはいえ内部空間も文化財的価値を重視した保存活用を求め、博物館は収蔵・展示・研究空間を十分確保しながら文化財建造物の価値継承と活用を模索した。その結果、基本計画は従来の新設部分を拡充して博物館機能の多くをそこに集約しつつ、本館は営業室を中心に内部空間を本来形式に復原したうえで展示空間利用を提言した。この基本計画は実現しなかったが、展示室の一部は営業室の吹き抜け空間がわかるように整備された。以上の経緯や改修工事に関する資料は、おもに「箱 10」「箱 11」「箱 12」に含まれていた。この改修工事の経緯は、『復元の記録』（平成 6 年）として公刊された。そこには報告書が刊行されなかった昭和 41 年の改修工事の知見やドーム復元の様子、さらには震災復旧修理の内容に関する記録の紹介も行われた。

2. 平面実測調査

資料調査の結果、旧横浜正金銀行本店本館に関する正確かつ完成された実測図面は確認できなかった。そのため本研究における実測平面図作成は重要な位置づけとなる。実測してみると、昭和 39 年の河合研作成の実測調査書は多くの部分で正確であったが、東面各室の歪みを見逃していた。この点の是正を平面図作成では留意した。

次に、実測した寸法をもとに平面図を作図するうえで、基準寸法を検討した。まず煉瓦壁（外周部は石積壁も併用）が壁真想定構成か、内法を基本とする計画かの検討を行った。この際、上階程壁厚が薄くなることも考慮した。壁厚使い分けは『横浜正金銀行建築要覧』に若干記述はあるが、全体把握は実測によるほかなかった。ここでは階段部分の検討、外壁との比較なども交えて、壁真を想定して煉瓦積厚を設定した建築と解釈して実測平面図を作成した。大正震災修理時の平面図の寸法を見ても、必ずしも均等かつ完数尺に収まっていない。

なお、類似調査を実施した岩手銀行(旧盛岡銀行)旧本店本館の設計図は煉瓦壁の真々を尺寸で計画しているし、貨幣博物館で開催されていた日銀本店の建築図面展示で確認した日銀本店の設計図も煉瓦・石積の真々寸法を基準としていた。さらに4節で述べる類似調査の結果も壁真々制で尺寸表記が標準であった。このことも踏まえ、横浜正金銀行本店本館の平面実測図について壁真々を基準として作図したことは、現時点では妥当と判断する。ただし、岩手銀行(旧盛岡銀行)旧本店本館詳細図の寸法を見ると、壁真々寸法と壁内法寸法の双方とも微妙に細かい尺寸表記するものがある。このような場合は、壁真々寸法を概数で押えたうえで、壁厚と内法寸法を考慮して若干調整して壁真々寸法を決定した可能性があろう。この点を踏まえて、今後も旧横浜正金銀行本店本館の平面寸法計画を検討していく必要がある。

3. 内部空間の履歴確認

資料調査において旧横浜正金銀行本店本館の5期にわたる平面図の存在が確認できた。また、既往研究により震災時の修理内容の概要も把握できる。また、博物館転用時の改修工事写真により、震災時の修理状況と当初部材の残存状況もある程度把握できる。そして平面実測の過程で各室の現状も確認できた。これらの成果をもとに、本館における各階の室構成の変遷を一覧表化した。

一覧表には備考欄に「大まかな評価」として構造部分の時代性と内装の時代性に関してA当初、B震災改修時、C博物館転用改修以後の3区分により現状観察の結果を記入してみた。ただし「天井の構造は当初のままだが床仕上げは震災時あるいは博物館転用改修時に改めた」とか「旧天井下に天井を設けた」とか「構造・内装とも当初をとどめるが、室内に入れ子式に空間を仮設している」など、状況が複雑な場合も少なくない。そのような場合は注記を付した。この一覧表をもとに、各室の履歴を踏まえたうえで、管理活用計画などの検討を進めることが望ましいが、そのためには「大まかな評価」部分の精度を高めるための継続的な調査が必要である。

4. 類似調査を通じた旧横浜正金銀行本店本館の特質と今後の課題

本研究推進にあたり、北東北・北海道の近代銀行建築6施設の調査と資料収集を行った。特に留意したのは建築時の設計図の存在、営業室および金庫室の空間構成と利用形態、施設全体の利用形態である。

図面調査は、存在が確認できた5例において壁真々制の尺寸表記が認められた。日本銀行本店本館の震災復旧修理時作成の平面図も壁真々制の尺寸表記である。したがって旧横浜正金銀行本店本館の震災復旧工事の作成平面図が壁真々制の尺寸表記されることは、明治末～大正期における標準的な傾向に従ったと考えられ、旧横浜正金銀行本店本館の創建時の平面寸法計画も同様な考えが適用された可能性が高い。なお、類似調査対象とした6例に比べ、旧横浜正金銀行本店本館は規模が大きく、煉瓦造と石造を錠聯鉄構法で強化する手法も斬新で、鉄骨・波型鉄板・煉瓦・軽量コンクリートを駆使した防火床構法（旧日本銀行小樽支店は床と屋根に防火構造を採用した）、地階と1階を結ぶ昇降機など、煉瓦造・石造の近代銀行建築として年代・規模・構法・設備の面で日本銀行本店本館に続く代表的遺構と再確認した。

営業室が吹抜の事例は4件で、いずれも吹抜空間を活かした利用がなされていた。この点は、高大な吹抜空間を3層に増床して展示室に利用する旧横浜正金銀行と大差がある。吹抜空間をそのまま継承すると、上階の面積と動線制約が大きい。そのため県立博物館クラスの機能を旧横浜正金銀行本店本館で実現するためには吹抜空間を犠牲にしないと難しい。この点は人文系博物館への改修基本構想時に提案されたように、新館に博物館機能を移し、本館は文化財として復原的に整備し記念館的利用がなされることが望ましい。

金庫室が残る施設は5件で、いずれも公開活用している（一部公開も含）。この点も金庫室が地階に集中しており、博物館収蔵施設として重要物品収蔵に充てている旧横浜正金銀行本店本館は様相が異なる。

このように近代銀行建築に関して、その代表的空間といえる営業室と金庫室を活用しながら建築の用途転用を図って継承する場合、その空間利用のあり方は2つの方向性が認められる。すなわち、当初から博物館利用を念頭に既存建物をその目的に合わせようとした旧横浜正金銀行本店本館の場合は、歴史的建造物としての価値継承は既存部材の維持やドーム復元として尽力したが、展示空間確保のために営業室の空間構成を仮設床設置により犠牲にし、金庫室は収蔵空間に充てざるを得なかった。一方、類例調査対象はいずれも、歴史的建造物をその内部空間の公開まで含めた目的のもとに利用形態を検討し、美術館・記念館・資料館など展示施設への転用を図っている。なお、類似調査対象ではなかったが、ホテルに転用（HOTEL HAKOBA）された旧安田銀行函館支店（S7 RC造2階）の利用形態は、調査時に宿泊して状況を体験したが、こうした宿泊施設としての転用形態も本来の空間の特質を生かしながら既存の近代銀行建築を継承していくうえでは潜在力が高いと感じた。

おわりに 本研究の総括

まず旧横浜正金銀行本店本館（神奈川県立歴史博物館）の建築実態解明に関する資料を①創建、②震災復旧、③銀行業務再開、④神奈川県立博物館への転用、⑤人文系博物館への再整備、の5期に分類整理した。その結果、建築当初記録は少ないが、震災復旧時および博物館転用時の資料は一定数存在し、それをもとに慎重な建物観察を行い類例にも留意すれば、建築当初の形式を把握しうる可能性があることを確認した。

当初形式把握に関する可能性は、平面実測において各室の構成を概観した結果においても実感できた。すなわち、一見改装甚大に見える部分であっても、基本的構造は当初形式を留め、内装も当初あるいは震災復旧時の形式を留めている場合が少なくない。しかも各階の室構成の変遷表を作成してみたところ、旧営業室以外は比較的空間利用の実態が大きく変わっていないことを再確認した。そのため今回の資料調査と平面実測調査の知見を踏まえて各室の構造・内装に関する時代的評価を試みた。

さらに図面資料調査・実測調査・類例調査を通じて、旧横浜正金銀行本店本館における寸法計画は壁真々制を尺寸で表現と想定し、実測平面図を作成した。ただし寸法計画に関しては壁厚と内法寸法の関係について、今後とも検討を進めるべきである。また、平面図は各階とも東面の各室において歪みが認められるが、その理由は明らかでなく、今後留意する必要がある

利活用に関しては、類例調査を通じて営業室の吹抜空間と金庫室まわりの空間が、近代銀行建築の大きな魅力であることを確認した。この潜在力の高い空間をいかに公開活用すべきであるは旧横浜正金銀行本店本館の将来構想における根本的な課題であることを実感した。ただし、現状を踏まえると、創建時の銀行営業室を復原し、重厚堅固な金庫室を公開し、なおかつ博物館機能を充足させることは難しい。とはいえ、そうなることを明確に意識し目標とするためにも、既存建築における現状を把握し、その中における歴史的経緯を示し、それぞれの時代における改造の意味を理解したうえで建物を継承していくことの重要性を説明することが必要である。

本研究で整備した実測平面図と各階における室構成変遷比較表はそのための基礎資料で、これをもとに本館建築調査と類例調査を継続することにより、図面の精度と比較表の内容を充実していくことが望ましい。

付記：紙面の制約により研究成果である実測平面図と室構成表ははじめ多くの資料が掲載できなかった。今後、神奈川県立歴史博物館と公開の可否を協議確認したうえで、できるだけ多くの資料の公開を目指したい。

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）

鎧浩史、吉田智春、瀧口千春、小山祐吾、松木浩雄、小石川透、佐藤俊介、石川直章、磯崎亜矢子、山田菜穂、細川利信、関口かをり、池上重康、野村祐一、富澤晃、熊谷則雄（以上類例調査）、

柳澤伸明、チェン・スイ・イー、壽川剛平、飯沼大輝、益田丈、柿崎友衣、可児綾加、五嶋薫子、杉本冴慧、谷口慶多、勅使河原大誠、花田幹也、藤田恭平、幸響生、吉田宗谷（以上実測調査参加者）

現状復帰可能な歴史的煉瓦造建築物の耐震補強方法の開発

京都工芸繊維大学 金尾伊織
岐阜大学 仲井朝美

1. はじめに

日本には明治時代から大正時代にかけて建設された多くの煉瓦造建築物が残されている。近年ではその意匠性や歴史的価値が認められ、保存・再生について関心が高まり、観光資源としての価値も認められ、積極的な活用が模索されている。

不特定多数の人が利用する施設として活用する場合、耐震性能の確保が必須となるため、耐震改修が行われてきている。煉瓦造建築物の耐震改修は、耐力の向上は当然であるが、歴史的建築物の保存という観点から、外観および内観を損なわない方法が望まれる。現在、煉瓦造建築物の耐震補強方法はP C鋼棒挿入¹⁾やアラミドロッド挿入目地置換工法²⁾、ステンレスピン挿入³⁾、鉄筋コンクリート造増設⁴⁾などの方法が用いられているが、施工に極めて手間がかかる、復元性に欠ける、外観や内観が著しく損なわれるなどの問題がある。煉瓦壁外側に引張材を設置して圧縮軸力を導入することができれば、施工性が向上し、外観・内観が保存され、復元性も確保できると考えた。また、引張材にグラスファイバーを用いることができれば、軽量で施工性が向上し、既存煉瓦壁の削孔などを最小限にとどめ、外観や内観を損

なわずに安価に補強できる可能性がある。本研究では、この工法について基礎的検討を行った。

2. 材料実験

2. 1 グラスファイバー引張実験

実験に用いるグラスファイバーの性能について検討する目的で、引張実験を実施した。グラスファイバーの先端部分の留め方、グラスファイバーの捻り方、コーティング剤を変えて引張実験を行った。計測項目は荷重とストロークである。

万能試験機とグラスファイバーの繋ぎ方を図1に示す。(a)は、シャックルに径12mm用のワイヤーコースを取り付け、グラスファイバーを通して径8mmワイヤー用のワイヤークリップ数個で留める方法と、シャックルにグラスファイバーを直接結び付ける方法の二通りで実験を行った。(b)は、万能試験機のチャックで挟む箇所のグラスファイバーにゴムを挟む場合と、直接グラスファイバーをチャックで挟む場合を検討した。(c)は、万能試験機のチャックにアイボルトを挟み、アイボルトに通した鋼管にグラスファイバーを巻き付けた端部をビニールテープで固定した。

グラスファイバーは、繊維の束をそのまま同素

表1 試験体一覧

試験体	留め方	ファイバー	樹脂	最大荷重 [kN]
A	(a)ワイヤークリップ8個(上下4個ずつ)	カバー	—	6.23
B	(a)ワイヤークリップ6個(上下3個ずつ)/ゴムあり	カバー	—	4.74
C	(a)ワイヤークリップ4個(上下2個ずつ)/樹脂あり	カバー	あり/寝かせて乾燥	6.60
D	(a)シャックルにもやい結び	カバー	—	9.34
E	(a)シャックルに巻き付ける	カバー	—	10.55
F	(a)シャックルに巻き付ける	カバー	あり/寝かせて乾燥	7.97
G	(a)ワイヤークリップ10個(上下5個ずつ)	カバー	あり/寝かせて乾燥	7.87
H	(b)チャックに直接挟む/ゴムあり	カバー	—	9.05
I	(a)ワイヤークリップ6個(上下3個ずつ)	カバー	—	5.17
J	(b)チャックに直接挟む	カバー	—	8.55
K	(a)シャックルなし/アイボルトに巻き付ける/端部ビニールテープ固定	カバー	—	2.44
L	(a)シャックルなし/アイボルトに巻き付ける/端部挟み固定	カバー	—	3.55
M	(b)チャックに直接挟む	ロープ編み	あり/吊るして乾燥	5.85
N	(b)チャックに直接挟む	燃糸	あり/広げて乾燥	5.99
O	(b)チャックに直接挟む	燃糸	あり/吊るして乾燥	6.12
P	(b)チャックに直接挟む	ロープ編み	あり/広げて乾燥	5.02
Q	(c)端部ビニールテープ固定	燃糸	あり/広げて乾燥	0.87
R	(c)端部ビニールテープ固定/試験体Qのまき直し	燃糸	あり/広げて乾燥	2.68
S	(c)端部ビニールテープ固定/試験体Rのまき直し	燃糸	あり/広げて乾燥	5.02

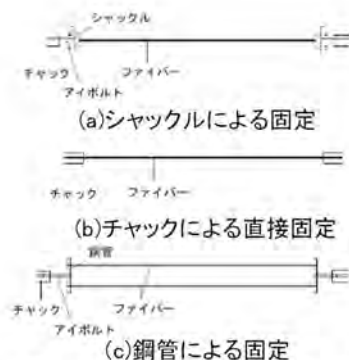


図1 グラスファイバーの引張実験

材でできたカバーで覆ったものと、繊維の束をロープ編みして一本にしたもの、繊維の束を撚って一本の撚糸にしたものの3種類の試験体で実験を行った。樹脂をつけたものとつけないもの、つけたものの中でも乾かし方を変えて実験を行った。試験体の種類と実験結果を表1にまとめて示す。いずれの試験体も、繊維そのものの強度ではなく、繊維の抜けやチャックで挟まれた部分の切断で強度が決定し、煉瓦壁実験で期待する強度を得ることが出来なかった。後日、繊維強度は予定通りの耐力を発揮していることを確認し、繊維の拘束方法の解決が必要であることを確認した。

2. 2 鋼棒材料実験

グラスファイバーの代わりに直径 16mm の鋼

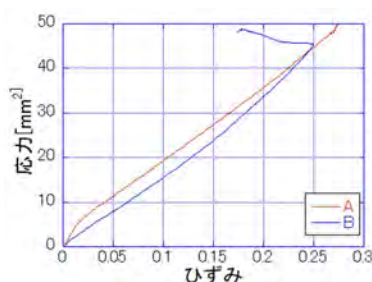


図2 煉瓦圧縮実験
応力-ひずみ関係

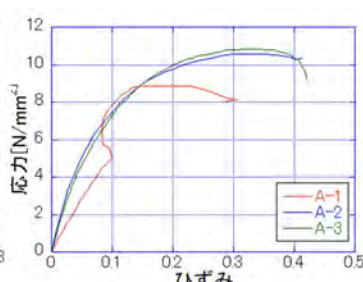


図3 目地圧縮実験
応力-ひずみ関係

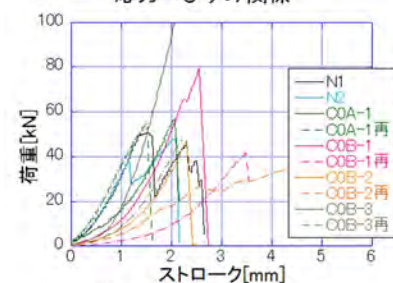


図4 目地のせん断実験の
荷重-ストローク関係

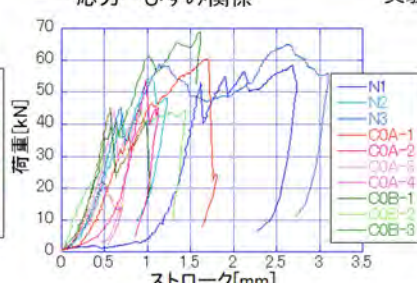


図5 目地の付着割裂実験の
荷重-ストローク関係



写真1 煉瓦圧縮
実験の様子



写真4 目地の付着
割裂実験の様子



写真2 目地圧縮
実験の様子



写真3 目地のせん
断実験の様子

表2 煉瓦の圧縮実験結果

	圧縮強度 [N/mm ²]	ヤング係数 [N/mm ²]	ポアソン 比
A	48.5	15735.9	0.27
B	48.5	15346.8	0.12
平均	48.5	15541.3	0.19

表3 目地の圧縮実験結果

	ヤング係数 [N/mm ²]	圧縮強度 [N/mm ²]	ポアソン 比	引張強度 [N/mm ²]
A	8636.8	10.1	0.14	1.4
B	9527.5	12.9	0.18	1.2
C	7732.1	10.9	0.15	1.1
D	8312.3	9.2	0.07	1.2
E	6178.8	7.7	0.14	1.1
平均	8077.5	10.2	0.13	1.2

表4 目地のせん断実験結果

試験体名	最大荷重 [kN]	せん断強度 [N/mm ²]
N1	50.83	0.37
N2	37.9	0.35
C0A-1	56.41	0.41
C0A-1再	55.23	0.80
C0B-1	65.48	0.47
C0B-1再	42.02	0.60
C0B-2	47.15	0.34
C0B-2再	26.88	0.40
C0B-3	99.85	0.72
C0B-3再	47.57	0.71
平均	52.932	0.5177473

表5 目地の付着割裂実験結果

試験体名	引張強度 [N/mm ²]	荷重 [kN]
N1	1.02	54.7
N2	1.04	54.5
N3	0.86	45.2
C0A-1	0.69	36.1
C0A-2	0.84	44.7
C0A-3	0.85	41.9
C0A-4	0.22	11.6
C0B-1	0.83	40.5
C0B-2	0.83	43.8
C0B-3	0.75	40.6
平均	0.83	43.44

棒を用いることとし、鋼棒の引張実験を実施した。

2. 3 煉瓦圧縮実験

煉瓦壁作製の際に用いた煉瓦の圧縮強度を調べるため、幅100mm、高さ60mm、奥行100mmの直方体試験体2体について圧縮実験を行った。試験体の側面にはひずみゲージを縦・横方向に貼り付けてひずみを計測した。応力-ひずみ関係を図2に示し、圧縮強度、ヤング係数及びポアソン比を表2に示す。また、実験の様子を写真1に示す。万能試験機の最大荷重500kN付近でも荷重が低下しなかったため、最大荷重500kNとして圧縮強度を計算した。

2. 4 目地の圧縮実験

煉瓦壁の目地は事前に配合を検討し、セメン

ト：石灰：砂＝1：2：7，水セメント比 100%の配合の目地を用いることとした。壁試験体の作製では，5 回目地を練り，それぞれ練り合わせる度に材料実験用試験体を製作した。それぞれ 1 回目の練りを A とし，順番に B から E とする。

試験体作製から 4 週間後，目地の圧縮実験を行った。鉛直荷重と縦ひずみおよび横ひずみを計測し，ヤング係数は同様の方法で算出した。ポアソン比は計測した 2 つの横ひずみの平均を 2 つの縦ひずみの平均で除して算出した。算出した圧縮強度，ヤング係数及びポアソン比を表 3 に示す。A 試験体の応力－ひずみ関係を図 3 に示し，実験の様子を写真 2 に示す。

2. 5 目地のせん断実験

煉瓦壁実験後，煉瓦壁面外曲げ実験で用いた試験体の一部から，二面せん断試験ができるよう直径 250mm，高さ 320mm の円柱形試験体を切り出して試験体を作製した。各目地の奥行きは 215mm である。荷重－ストローク関係を図 4，実験結果を表 4 に，実験の様子を写真 3 に示す。

2. 6 目地の付着割裂実験

煉瓦壁実験後，煉瓦壁面外曲げ実験で用いた試験体の一部から，目地が中心位置に来るように，直径 105mm，高さ 325mm の円柱形試験体を切り出し，付着割裂実験を実施した。試験体は目地が鉛直となるように横に寝かせて置き，目地の真上から鉄板を置いて載荷した。目地の付着引張強度は目地と煉瓦の界面部分にひび割れが生じ，荷重が低下したときの荷重より，式(1)で算定する。

$$\sigma_t = \frac{2P}{\pi \cdot d \cdot l} \quad (1)$$

荷重－ストローク関係を図 5 に示し，実験結果を表 5 に示す。実験前後の様子を写真 4 に示す。目地と煉瓦の界面部分にひび割れが発生し，完全に剥離する壊れ方をした。

3. 煉瓦壁面外曲げ実験

提案した補強方法の効果を検討する目的で煉

瓦壁を 3 体作製した。接合部の改良が必要であったことから，グラスファイバーの代わりに鋼棒を用いて拘束効果を確認する。鋼棒を取り付けるため試験体の上下に鋼板を設置し，煉瓦壁の外側に鋼棒を設置した。煉瓦壁作製から 4 週間後に，無補強試験体 (N)，35 週間後に補強試験体 (B0) の面外曲げ実験を行った。実験概要を図 6 に示す。(c)に示すように載荷面側の 6 か所に変位計を設置し，試験体の上部から鉛直変位を計測する。無補強試験体は上面のみ，補強試験体 B0 は上面に加えて下面の変位も計測した。また，鋼棒のひずみも計測した。

補強試験体は煉瓦壁を鋼板で挟み，煉瓦壁の外側に鋼棒を通してナットで留めて固定し，鋼棒には初期張力を与えない。補強試験体 B0 の支点には図 7 に示す治具を用いた。

無補強試験体と補強試験体 B0 の荷重－変位関係を図 8 に示す。補強試験体 B0 における張力－変位関係を図 9，実験の様子を写真 5 に示す。

無補強試験体では，荷重が 37.39kN の時点で中央付近の目地部が剥離し荷重が低下した。補強試験体 B0 では，45kN に達した時点で，二つの載荷点両方の中央寄りの目地部分にひび割れが発生して一度荷重が低下したが，この時点で破壊は起こらなかったので載荷を継続した。試験体下端のひび割れ幅は 200kN の時点では 13mm，250kN に達したときは 15mm となった。荷重が 250kN に達した時点で除荷したが，煉瓦壁の破壊は起こらず，この時の試験体下側の鋼棒の張力は 64.85kN，上側の張力は 21.07kN であった。45kN の時点で荷重が一度低下したが，この時点では鋼棒の張力が発生しておらず，実験前の鉄板と煉瓦壁の間に隙間があったことを考慮すると，ひび割れが発生した瞬間は鋼棒の効果は見られないが，さらに荷重を加えることで，鋼棒が試験体の広がり拘束する効果が表れたと考えられる。

以上の結果より，煉瓦壁の外側からの補強で煉瓦壁目地部の剥離による破壊が抑えられ，煉瓦壁

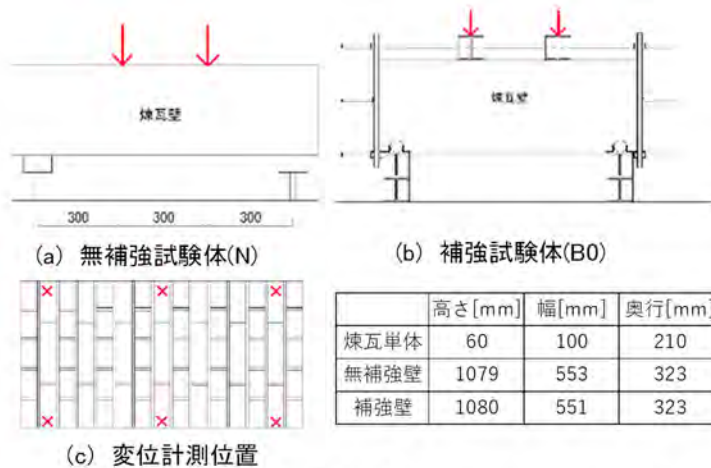


図6 実験概要

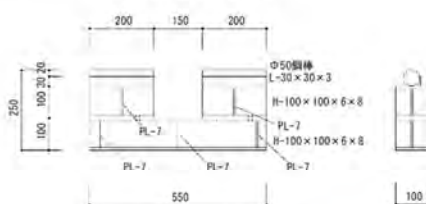


図7 支点治具

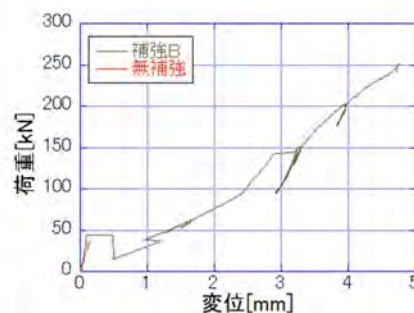


図8 荷重－変位関係

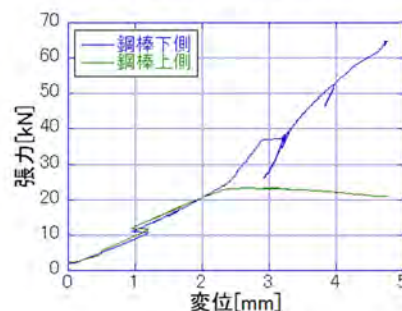


図9 張力－変位関係



無補強試験体



写真5 実験前後の様子



補強試験体B0

の耐力が向上することが明らかになった。また、設置する補強材にはプレストレスを導入しなくても、耐力向上の効果があることを確認した。

6. まとめ

煉瓦壁の面外曲げ耐力の向上を目指した補強方法として、煉瓦壁外側に引張材を配置する方法を提案し、基礎的検討を行った。引張材を煉瓦壁の外側に配置することで、煉瓦壁のひび割れによる変形を拘束し、耐力が向上することを確認した。グラスファイバーによる補強を実現するためには、ファイバーの固定方法に改良の必要があるが、この問題が解決されれば、利用できる可能性があることを確認した。

なお、本研究の内容は、京都工芸繊維大学・熱田花梨氏の卒業論文の内容である。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、北陸ファイバーグラス株式会社代表取締役・北村雅之氏、岐阜大学 Gu コンポジット研究センター・名合聡教授、岐阜大学・札内彰氏には、グラスファイバーの試作および実験に多大なるご協力をいただきました。また、京都工芸繊維大学技術職員・小山清司氏、四方利和氏、京都工芸繊維大学大学院生・田中千裕氏（現 前田建設工業）をはじめとする構造研究室の大学院生には、煉瓦実験に関してご協力いただきました。ここに記して、感謝申し上げます。

参考文献

- 山本正人, 宮内靖昌, ウサレム・ハッサン, 木林長仁, 根津定満, 東和彦: プレストレス導入により補強したレンガ造壁の構造性能に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 C-2, 構造IV, pp. 971-972, 2009.7
- 佐藤壮大, 西川忠: アラミドロッド挿入目地置換工法による煉瓦造建築物の耐震補強実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, pp. 821-822, 2014.9
- 多幾山 法子, 長江拓也, 前田春雄, 喜多村昌利, 吉田亘利, 荒木慶一: ステンレスピン挿入による歴史的組積造建築物の耐震改修: その 1 補強煉瓦壁の繰返し面外曲げ実験, 日本建築学会構造系論文集, 第 635 号, pp. 167-176, 2009.1
- 藤井光治郎, 久保哲夫, 叶篤彦, 杉村貞夫, 石橋輝樹: 既存レンガ造建築物の耐震診断と耐震補強に関する研究: その 1. レンガ壁体試験の試験体計画, 日本建築学会大会学術講演梗概集 C, 構造 II pp. 1009-1010, 1990.9

平成30年度 公益財団法人 松井角平記念財団研究助成

「近世社寺建造物における油彩系塗装彩色材料・技法の
調査と保存修理・資料活用に関する研究」

研究成果報告書

龍谷大学・文学部・歴史学科（文化遺産学）教授

博士（学術）（史学） 北 野 信 彦

序論:本研究の目的と方法

1、本研究の目的

近世社寺建造物の塗装彩色材料には、漆塗料や膠材料以外、チャン塗・油拭塗・桐油塗などの乾性油系塗料や唐油蒔絵などの油彩系絵具が使用されたことが各種文献史料から知られるが、伝統的な仕様や使用の実態には不明な点が多い。一方、近年の文化財建造物の塗装彩色修理では、造営当初のオリジナルに復した施工や、その後の美装化修理を含む保守管理方法の策定が求められている。しかしオリジナルの状態を生かした油彩系塗装彩色材料による修理を行った場合、工事施工後に固化不良に伴う不具合を生じる事例もみられ、その原因の解明と対策は急務である。さらに今日の伝統的建造物の修理では近代建築が対象となる場合も多く、このような近代建築のなかでも明治10年代の明治初頭期に登場する擬洋風建築の塗装彩色材料については、輸入塗料であるオイルペイントなどの乾性油系塗料を調達する、もしくは本研究が研究対象とする伝統的な油彩画系塗装彩色を調合して使用したと想定される。ところがこれらに関する基礎研究もほとんど為されていない現状がある。

本研究はこれらの点を考慮に入れて、①油彩系塗装彩色材料に関する実態調査、②日光社寺建造物などの近世社寺建造物で使用記録がある油彩系塗装彩色材料の文献史料の製法を参考とした劣化促進実験に供するための復元手板の作成、③北野らにより塗装彩色塗膜の固化状態が良好であることを確認した日光東照宮陽明門東西壁面の唐油蒔絵(油彩画)の材料・技法・線描に関する比較調査を行った。この一連の調査は、近世社寺建造物、さらには近代の擬洋風建築で多用されたであろう油彩系塗装彩色材料の製法や使用の歴史に関する実態を総合的に明らかにして今後の修理施工に役立てることを主目的としている。近代の擬洋風建築には地方の小学校などの学校建築も多いが、これらには近世の寺院が経営していた寺子屋を明治初期の学制により小学校としたものも含まれている。その点では、近世社寺建造物との関係も少なからずあろう。さて、このような建造物で使用された乾性油系の塗装彩色材料には西洋から輸入されたオイルペイント塗料やペンキ塗料もあるが、その一方で、本研究が調査対象とする伝統的な乾性油系の塗装彩色材料も含まれる。このような乾性油系の塗装彩色材料の使用例の一つは、幕府御用絵師であった狩野派画工が18世紀前～中期に油彩画技法を用いて建造物壁面に大絵画を描いた事例である。この事実は、これまで美術史分野では認識されてこなかった。そのため本研究が取り上げる江戸時代中期頃の狩野派画工集団が建造物塗装彩色修理にどのように関わったかを学術的に明確にすることは、これらの正当な評価や保存・活用を進める上でも意義が深いと考える。

一方、国外の中国・朝鮮半島・モンゴルなどの仏教寺院建造物の塗装彩色においても油彩系塗装彩色材料が中心あったとされ、北野もモンゴルのアマルバヤスガラント寺院などの塗装彩色調査でその状況を確認しているが、報告例は少ないようである。

さて日本の油彩系塗装彩色技法に関する先行研究には、山崎一雄らが正倉院御物や法隆寺玉虫厨子の彩色について蛍光ライト観察を行い、大陸から伝来した密陀絵技術が応用されたことを報告している研究が良く知られている。その後、桃山文化期のキリスト教宗教画の作成に伴い西洋画技術がヨーロッパから導入されたことが知られるが、北野らも当世具足の肌色や緑色塗装で油彩系塗料の使用を確認し、これらが西洋画技術の応用であろうと報告した。なお本研究では、京都市中の元禄期頃の工房跡(旧柳池中学校遺跡)出土資料群のなかに緑色と青色の油彩画塗料(油絵具)が付着した曲物容器を分析で新たに確認した。近世前期頃の油彩画材料の一つであると理解したので、本報告書でと関連するこの成果も併せて報告する。西洋の油彩画技法は、技術系譜の断絶期を経て18世紀後期頃の蘭学盛隆に伴い司馬江漢らが長崎から技術を導入して開始したとされるが、日光社寺建造物群ではこの油彩画技法の断絶期である元禄年間に唐油蒔絵(油彩画)技術が採用されている。本研究ではこの技術が漆工の密陀絵技術の系譜か建造物塗装の代用漆塗料の技術か、西洋の油彩画技術を狩野派が独自に導入した結果なのかに関する比較調査を行うとともに、現在行われている油彩画塗装彩色技術の改良に向けた基礎調査と曝露試験を行い施工に反映させることも目的の一つとした。このような基礎研究は、今後、近世社寺建造物における塗装彩色の保存修理と活用に有用となろう。

2、調査対象資料

本研究で、①油彩系塗装彩色材料の実態調査、②文献史料の製法を参考とした復元手板の作成と劣化促進実験、③日光東照宮陽明門東西壁面の唐油蒔絵(油彩画)材料・技法・線描表現の比較調査、にわたった調査対象資料は以下のとおりである。

①文化財建造物などの油彩画系塗装彩色材料

本調査では、本研究の調査対象である油彩系塗装彩色材料が使用されたと想定される近世社寺建造物のみならず、現在塗装修理が実施されているか、塗装修理計画中のため基礎調査が必要な近代の擬洋風建築なども含めた。

日光二荒山神社本殿造営当初の塗装彩色材料＝漆塗料・乾性油塗料・膠材料それぞれ検出した。

旧柳池中学校構内遺跡出土の緑色・青色彩色材料＝寛永期に油彩画塗料の調合を確認した。

厳島神社大鳥居の旧塗装材料＝現在の朱-S-4の合成塗料、それ以前の鉛丹塗装と異なり、明治期塗装では朱＋オイルペイント塗装であることを確認した。

龍谷大学・本館・北齋の明治12年造営当初期の旧塗装材料＝輸入ペンキ塗料やオイルペイント塗料とともに、伝統的な春慶塗系塗装仕様の併用を確認した。

首里城正殿・権現堂に関する文献史料＝朱桐油塗・黒桐油塗に関する記述が多々見られた。

②劣化促進実験用の復元手板の作成

- ・手板作成の参考とする文献史料＝日光東照宮修理関連文書(寛政九年塗師方本途直段)など
- ・劣化促進実験 上記の調査方法と同様の調査を現地において実施：UV・温湿度データロガー設置

③日光東照宮陽明門東西壁面の唐油蒔絵絵画の材質・技法と類例の絵画資料調査

本調査では幕府奥絵師狩野派宗家(中橋狩野家)狩野祐清英信下絵、表絵師作画の日光東照宮陽明門東西漆箔壁面作画の唐油蒔絵絵画彩色と類例の絵画資料の高精細画像の詳細な筆描観察(作風比較)して行った。

- ・ 日光東照宮陽明門東西壁面の狩野祐清英信下絵の唐油蒔絵絵画
- ・ 龍谷大学大宮学舎本館貴賓室所蔵の狩野祐清英信作画の八曲一双「松鶴図」金碧屏風
- ・



写真 1-1: 日光東照宮油彩画復元塗料の手板作成①

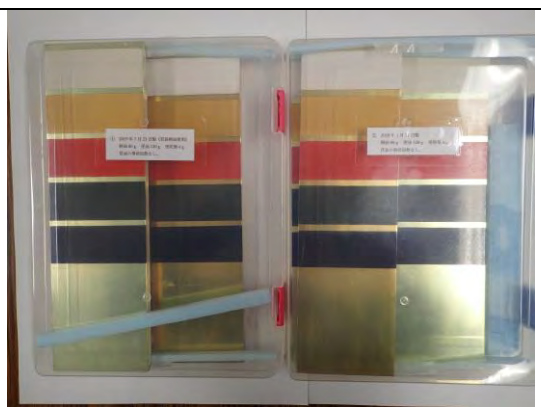


写真 1-2: 日光東照宮油彩画復元塗料の手板作成②



写真 1-3 日光東照宮油彩画復元塗料の手板作成③



写真 2: 琉球王国権現堂の乾性油塗装彩色



写真 3-1: 修理終了後の現状(西側羽目板)

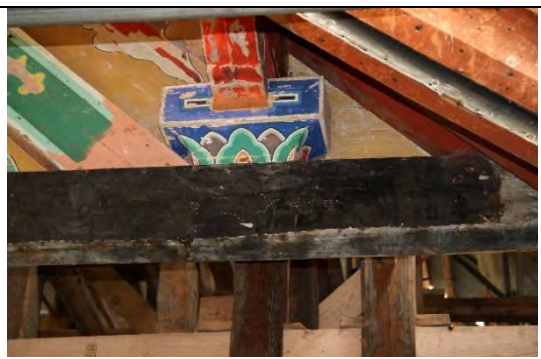


写真 3-2: 同 修理終了後の現状(東側羽目板)



写真 4-1:修理終了後の現状(西側羽目板)



写真 4-2:同 修理終了後の現状(東側羽目板)



写真 5-1:修理終了後の現状(西側羽目板)



写真 5-2:同 修理終了後の現状(東側羽目板)



写真 6-1:青色・緑色油彩塗料が付着した出土柄杓

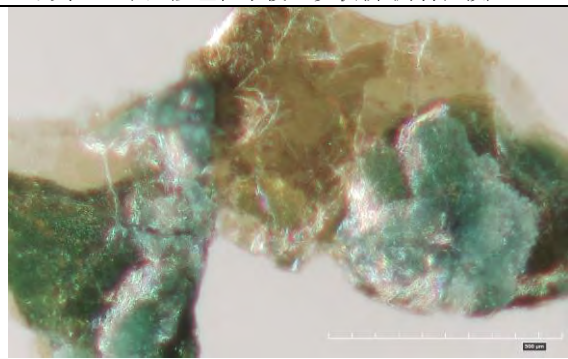


写真 6-2:緑色油彩塗料の拡大観察



写真 7-1:修理終了後の現状(西側羽目板)

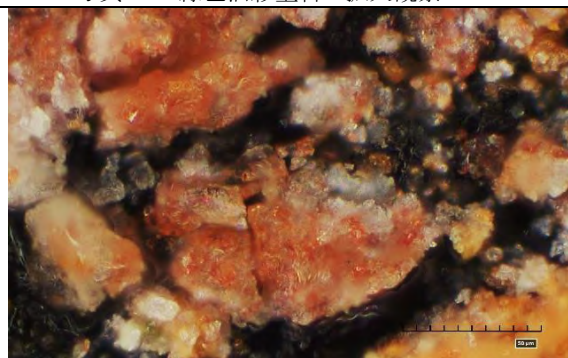


写真 7-2:同 修理終了後の現状(東側羽目板)

研究要約・概要書

研究課題名称：

断面の大きな貫接合部の耐力発現機構に関する研究

京都大学生存圏研究所 生活圏構造機能分野(旧所属)

北守顕久

1. 研究の背景と目的

貫接合部は鎌倉期以降にわが国に導入され、以降、社寺建築物の鉛直構面耐力において主要な役割を担ってきたことは周知の事実である。貫は木材のめり込みによって大変形能力を持ち、終局時まで建物の倒壊を防止するために非常に有効な機構である。その耐力発現メカニズムに関して様々な研究があり、現在ではめり込み理論式によって回転剛性や降伏耐力が推定可能とされている。しかし、実際には社寺建築に用いられる貫接合部は、大断面の柱幅に対して細長い形状であったり、また交差部材を構成するために仕口内で断面が変化していたりするなど、めり込み理論式の適用範囲外であることが多い。このような条件では仕口内での貫の曲げせん断変形により、何らかの耐力の低減を考慮する必要があると考えられる。さらに連続する貫が仕口内で継がれている場合もある。この場合、貫部材の継手形状によってはその効果をポジティブに評価できる可能性がある。ところが、このような様々な形状の貫について、その耐力を推定する方法は実は存在せず、めり込み理論式にあてはめた特性値に何らかの係数をかけて曖昧に評価しているのが現状である。本課題では、このような複雑な貫接合部の耐力発現機構を、力学モデルから説明を試み、実用的な範囲での推定モデルを提案することを目的とする。

2. 仕口内の曲げせん断変形を考慮する貫接合部の回転性能評価式

まず、簡単な機構である貫仕口の仕口内変形を考慮した剛性算定法の提案を行った。FEM 解析と理論式による結果を検討し、簡易な評価式として現行の剛性算定式と柱幅 x_p と梁せい H による寸法比 $\alpha = H/x_p$ によって算出可能な低減係数 D を提案した。

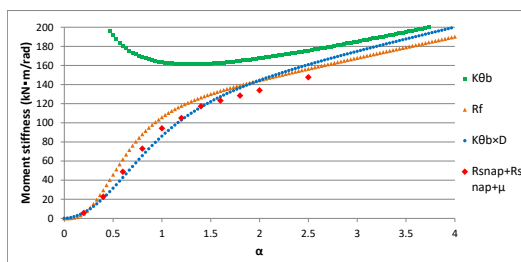


図1 貫仕口の回転剛性と寸法比 α の関係

$$D = \frac{\alpha^{2.5}}{0.9 + \alpha^{2.5}} \quad (\text{式 1})$$

3. 断面の大きな貫(小根ほぞ仕口)接合の耐力算定

次にこの簡易計算法の応用とした小根ほぞ仕口の回転剛性算定法を提案した。この算定法を割合法とし、以下の手順で算定する。

- ①仕口内には大根(おおね)と小根の2種類の断面をもつ貫があるとする。
- ②各々の仕口内変形を加味した剛性を簡易計算法によって算出。
- ③柱幅に対して大根と小根の占める割合と各々の剛性値の積を足し合わせる。

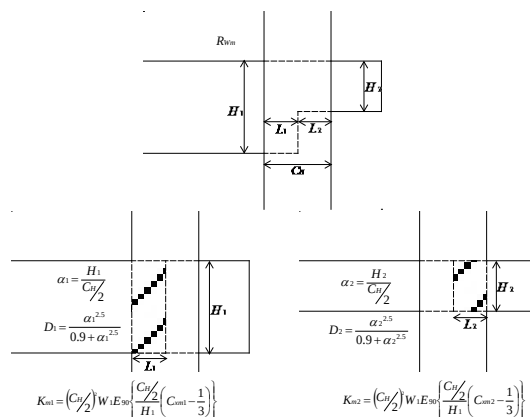


図2 割合法の定義イメージ

4. 小根ほぞ仕口の接合部曲げ実験

T字型小根ほぞ仕口試験体の接合部回転試験を実施し、形状や寸法の異なる貫接合部の回転抵抗挙動を確認し小根ほぞ仕口内において、部材の仕口内変形が生じていることを観察した。得られた試験結果と上記割合法による剛性の推定値を比較することで、整合性を確認し、推定式の正しさを検証した。

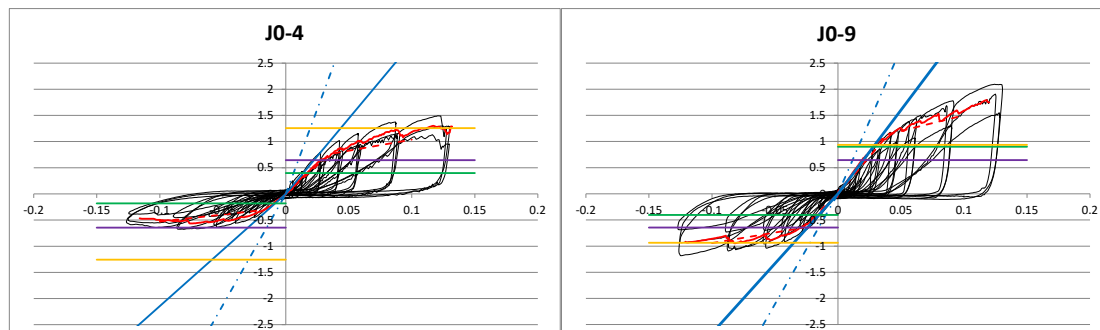


図3 実験結果 M-θ 関係の一例

一点鎖線 既往稲山式による剛性算定値

青直線:本研究で提案する割合法による剛性算定値

5. まとめ

本論は、伝統建築の設計において実務者が容易に用いられるよう簡略化された耐力算定式の構築を提案することが大きな目的であった。得られた結果は既往評価式に比べて剛性算定値を低めに評価することとなるものだが、伝統構法建築物を、より詳細に評価するためには有用な知見であると考えている。

1. はじめに

我が国では大地震の発生が懸念されており、文化財的価値の高い伝統木造建物に対しても耐震診断や適切な耐震補強が必要とされている。耐震診断において、立体解析モデルを用いた数値解析を行う際には、部材のヤング係数や材料強度を設定する必要があるが、文化財建物などにおいては無等級材として材料強度を低めに設定せざるを得ず、どうしても耐震補強箇所が多くなってしまう。そこで、既存木造建物を対象として、完全非破壊な材料試験法により、曲げヤング係数推定を行い、機械等級区分より各種材料特性の推定を行うことができれば、より実情に近い耐震性評価と、不必要な耐震補強の回避が期待できる。

速水ら²⁾は、柱材を対象とした完全非破壊な衝撃弾性波法を提案し、木材表面を繊維方向に伝播する弾性波を用いた曲げヤング係数の推定を行っている。しかし、曲げヤング係数の推定精度を向上するためには、対象建物で使用されている木材の密度を非破壊で把握する必要がある。

2. 材料特性推定法

両端がピン・ローラー支持された柱の中央に、錘が付加された柱の曲げ振動を考える。柱の全長は l 、密度は ρ 、断面積は A 、曲げヤング係数は E 、断面2次モーメントは I と表す。錘は、柱中央の集中質量 m としてモデル化する。錘無し、錘有りの場合の1次固有振動数をそれぞれ f_0 、 f とすると、密度 ρ と曲げヤング係数 E は、下式のように近似的に表される。

$$\rho = \frac{35f^2m}{17Al(f_0^2 - f^2)} \quad (1)$$

$$E = \frac{\pi^2 l^3 m}{12I(1/f^2 - 1/f_0^2)} \quad (2)$$

3. 試験体

柱の振動特性を把握し、推定法の精度を検証するため、伝統木造建物における垂壁付き独立柱を模擬した試験体を製作して実験を行った。試験体の立面図を図1に示す。柱はC1、C2、C3、C4、C5の5本で、全てスギ材で用いているが、JAS機械等級区分と断面寸法が異なっている。土台は鉄骨土台にアンカーボルトで緊結し固定している。また、鉄骨土台から単管パイプでフレームを組み、差鴨居を面内方向に、桁を面内・面外方向に拘束している。

4. 試験方法の検討

柱に設置する錘を、図2に示す。錘の合計質量は、部材Bの材料を変化させ、木材、セメント、鋼材の場合、それぞれ1.38、2.64、6.29kgとなっている。柱を振動させる際、鋼球ハンマーを用いて柱を極軽く打撃する。錘を付加しない柱を対象に、試験方法やデータ処理方法について下記のような検討を行った。



写真1 独立柱の例

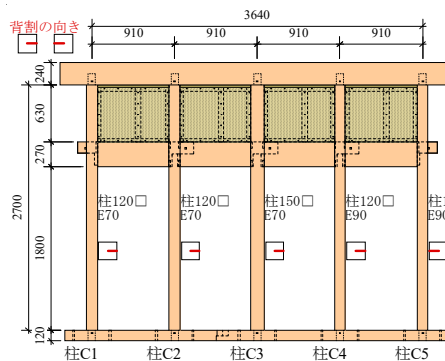


図1 試験体

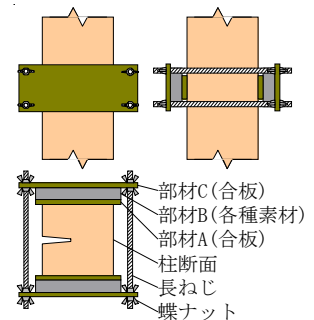


図2 錘

(1) 打撃ハンマーの鋼球径

打撃に用いる鋼球ハンマーの直径を3通り (5mm, 10mm, 20mm) に変化させ振動性状の違いを分析した。

(2) 打撃位置と打撃方向

C2 柱の中央を架構面内、面外方向に、また、打撃高さを変化させて、振動性状を比較した。

(3) データ処理方法

一部の柱では、架構の拘束に用いた単管パイプの固有振動数に相当する振動が、打撃した柱で計測された。柱の固有振動数を特定するためのデータ処理方法について検討を行った。

5. 密度推定結果

各柱について、付加する錘の質量を3通り (1.38, 2.64, 6.29kg) に変化させて、密度や曲げヤング係数の推定精度の検討を行った。錘を変化させて打撃した際に得られた柱 C1 のフーリエスペクトルを図3に示す。また、(1), (2)式を用いて推定された密度と曲げヤング係数の相対誤差を図4に示す。

まず、密度については、錘の質量が大きいほど誤差のばらつきが小さくなり、推定精度が高くなっている。錘の質量が 6.29kg の場合、差鴨居下端から土台上端までの柱質量の約半分程度の質量となっており、誤差は約 7% 以下の値となっている。一方、曲げヤング係数推定については、実測値よりも 40% 程度大きく推定される傾向が確認された。これは、端部の回転拘束の影響を無視して推定していることが要因と考えられる。

6. まとめ

本研究では、伝統木造建物の柱部材を対象として、質量付加による固有振動数の変化に基づき密度を推定する方法（質量感应法）の精度検証と実際の現場での適用可能性向上を目的として、垂壁付き独立柱を模した実大平面架構の試験体を用いた検討を行った。本研究では、柱の境界条件が不明確であること、架構全体を拘束するのに、単管パイプを用いて、解体修理現場により近い条件で検証を行っている点にも意義がある。

以下に得られた知見を示す。

- 1) 柱の1次固有振動数は打撃に用いた鋼球ハンマーの直径や打撃位置に、振動モードは錘重量に大きく影響を受けない。
- 2) 解体現場などで、計測対象柱の周辺に、単管パイプなどの振動しやすいものがあれば、1次固有振動数の推定が困難となる場合がある。その場合でも、time window を施すことで、1次固有振動数の推定のロバスト性を高めることが可能であることを示した。
- 3) 提案した方法では、付加される錘が重たいほど、密度の推定精度は高まる傾向にあり、柱重量の3割程度以上の錘を付加することで、推定誤差は約 7% 以下であった。

参考文献

- 1) 符栄吉, 飯島爽太, 杉野未奈, 林康裕 : 衝撃弾性波によるヒノキ柱の非破壊試験法の提案, 日本建築学会大会梗概集, 2020 (掲載予定)。
- 2) 速水紀文, 村瀬詩織, 杉野未奈, 林康裕, 衝撃弾性波を用いた大径木材の完全非破壊型材料特性推定に関する研, 日本建築学会技術報告集, 第 24 巻, 第 57 号, pp.649-654, 2018。

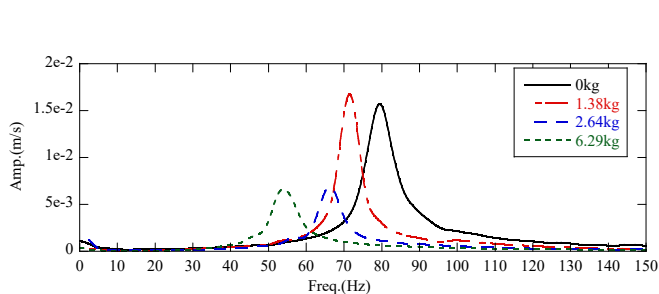
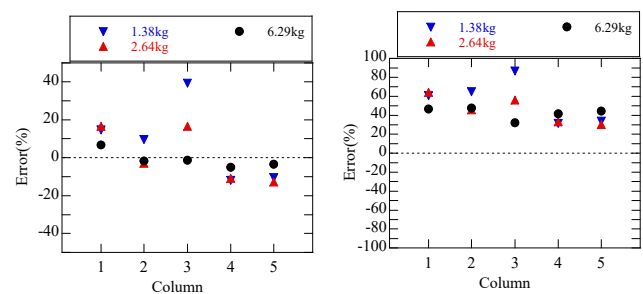


図3 錘質量による振動特性の変化 (柱 C1)



(a) 密度 (b) 曲げヤング係数

図4 材料定数の推定精度

1. はじめに

社寺建築物を含めた伝統木造建築では、劣化した柱の補修として柱の根継ぎがよく行われる。これは腐朽や虫害の被害を受けやすい柱脚だけを新材に取り替え、可能な限り既存部位を残すために行われるもので、日本における優れた伝統技術の一つと言える。柱の根継ぎには金輪継ぎが用いられることが多いが、研究代表者が過去に実施した金輪継ぎの曲げ実験¹⁾では、無垢材の半分にも満たない荷重で曲げ破壊が生じることがわかっており、鉛直軸力のみ伝達であれば大きな問題は生じないが、地震荷重のように水平荷重を受けた際に柱の根継ぎ部に曲げモーメントやせん断力が作用すると非常に不利な構造体になり得る。特に社寺建築物で見られるような板壁構面を構成する柱を根継ぎした場合には、地震力を受けた板壁に作用した圧縮抵抗力により柱に曲げせん断力が作用するため²⁾、根継ぎ部の構造評価を行うことが必要不可欠であるが、これまでにそのような実験を実施した事例もなく、設計者や現場の担当技師の判断に委ねられているのが実状である。実状としては特に気にすることなく根継ぎを施している可能性も高いが、このような危険性が生じることがわかったとしても、どの程度の安全性を有するのか、またその対策をどのようにすればよいのかがわからないという状況である。

そこで本研究では、まずは板壁構面に根継ぎを施した場合に、どのような破壊が生じ、どの程度の耐力低下が生じるのかを明らかにすることを目的とし、いくつかのパラメータ実験を通して破壊性状、変形状、復元力特性の評価を試みる。

2. 実験方法

試験体の基本形状と継手寸法を図1に、試験体一覧を表1に示す。ここで、紙面右向きを載荷の正方向とする。柱、梁、土台には□-180×180mmのヒノキ材を、貫には□-50×120mmのヒノキ材を、板壁には厚さ18mmのヒノキ材を用いた。板壁を挿入するために板壁周辺の軸組に溝があり、各試験体に板壁を10枚挿入した。本実験の継手方法は金輪継ぎとし、込み栓にはカシ材(□-15×15)を用いた。なお、柱脚は土台仕様とし、柱-梁、柱-土台仕口は短ほぞとし、貫は楔を用いた接合とした。さらに柱頭、柱脚にはホールダウン金物(ビス止めホールダウン：U35kN)を取り付けた。

試験体は全部で5体を用意した。試験体1は、根継ぎのない標準試験体である。試験体2、試験体3、試験体5は継手を左柱に継手を設け、試験体4は右柱に継手を設けた。構面の変形時に板壁が柱を押し出す方向に対して、試験体3は継手を強軸方向に、試験体2、試験体4、試験体5は継手を弱軸方向に取り付けた。また、継手部分での局所的な破壊を防ぐために、試験体5では鋼材を継手に2箇所巻きつけて補強している。載荷方法は柱脚固定式で行い、梁に連結した油圧ジャッキで加力を行った。

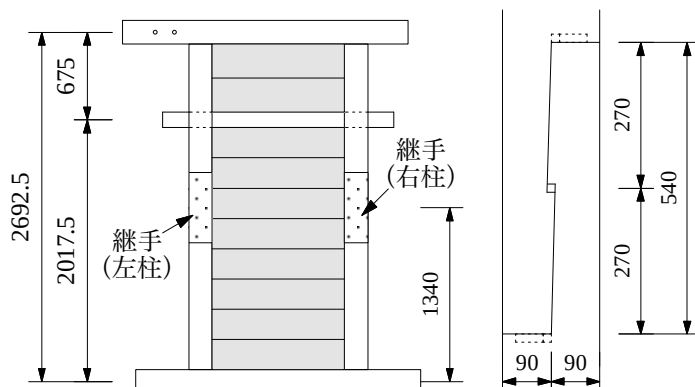


図1 試験体の基本形状と継手寸法

表1 試験体一覧

試験体名称	継手			
	有無	位置	向き	補強
試験体1	—	—	—	—
試験体2	○	左柱	弱軸	—
試験体3	○	左柱	強軸	—
試験体4	○	右柱	弱軸	—
試験体5	○	左柱	弱軸	○

載荷は変位制御で行い、変形角が $1/450$ 、 $1/300$ 、 $1/200$ 、 $1/150$ 、 $1/100$ 、 $1/75$ 、 $1/50\text{rad}$ となるように正負交番繰り返し加力を行った。同一変形角での繰り返しを 2 回ずつ行い、最後に $1/10\text{rad}$ まで片側加力を行った。

3. 結果と考察

$1/10\text{rad}$ 時の試験体 1、試験体 4 の構面全体の様子をそれぞれ写真 1 に、各試験体の継手の様子を写真 2 に示す。試験体 1 は木材が連続的に変形していたのに対し、継手を有する試験体は継手の切り欠き部分から柱に割裂が生じた。さらに、継手を弱軸方向に取り付けた試験体 2、試験体 4 では割裂により発生した亀裂が著しく進行し、継手位置での局所的な変形が見られた。継手に補強を施した試験体 5 では、鋼材により継手位置での部材間の隙間が広がるのを抑えることができ、亀裂の進行が抑制された。また、継手位置の局所的な変形は見られず、靱性能の観点から十分な補強効果を得ることができたと考えられる。

荷重－見かけのせん断変形角関係の一覧と正側の包絡線を図 2 に示す。正側包絡線の結果を比較すると、初期剛性に若干の差は見られるものの、全ての試験体で荷重－見かけのせん断変形角関係に大きな差は見られなかった。本実験では全て 1P 試験体を用いたことで、板壁の圧縮抵抗によるたわみが両柱で大きくなり、板壁の抵抗が十分に発揮されなかったためであると考察しているが、より詳細な検討を行う必要があり、今後の課題である。

次に、柱のたわみ量について比較を行う。本研究では、根継ぎを有する側の柱の水平変位を計測し、試験体 1 については比較のために左柱の水平変位を計測した。なお、上下の梁と土台からの相対変位を柱のたわみ量とし、 $1/50$ 、 $1/30$ 、 $1/15$ 、 $1/10\text{rad}$ ごとに表したものを図 3 に示す。根継ぎを有する試験体 2～試験体 5 では、試験体 1 と比較して継手位置で柱が大きいたわみ、特に継手を弱軸方向に取り付けた試験体 2、試験体 4、試験体 5 で強軸方向に取り付けた試験体 3 と比べて $1/15\text{rad}$ から継手位置での柱のたわみ量が著しく増大していることが分かった。また、本実験での鋼材による補強は柱が分離しないことを意図したものであり、継手位置での曲げ性能を向上させるものではないため、試験体 2 と試験体 5 に大きな差は見られなかった。



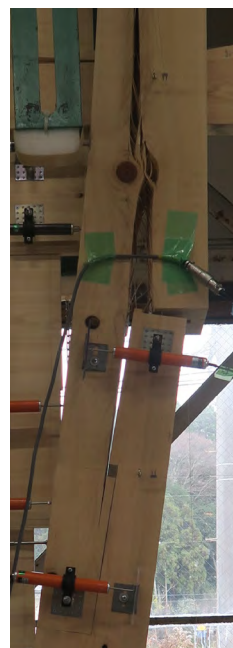
写真 1 $1/10\text{rad}$ 時の様子
(上：試験体 1 / 下：試験体 4)



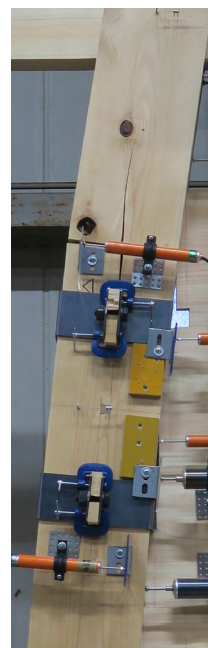
<試験体 2>



<試験体 3>



<試験体 4>



<試験体 5>

写真 2 $1/10\text{rad}$ 時の継手の様子

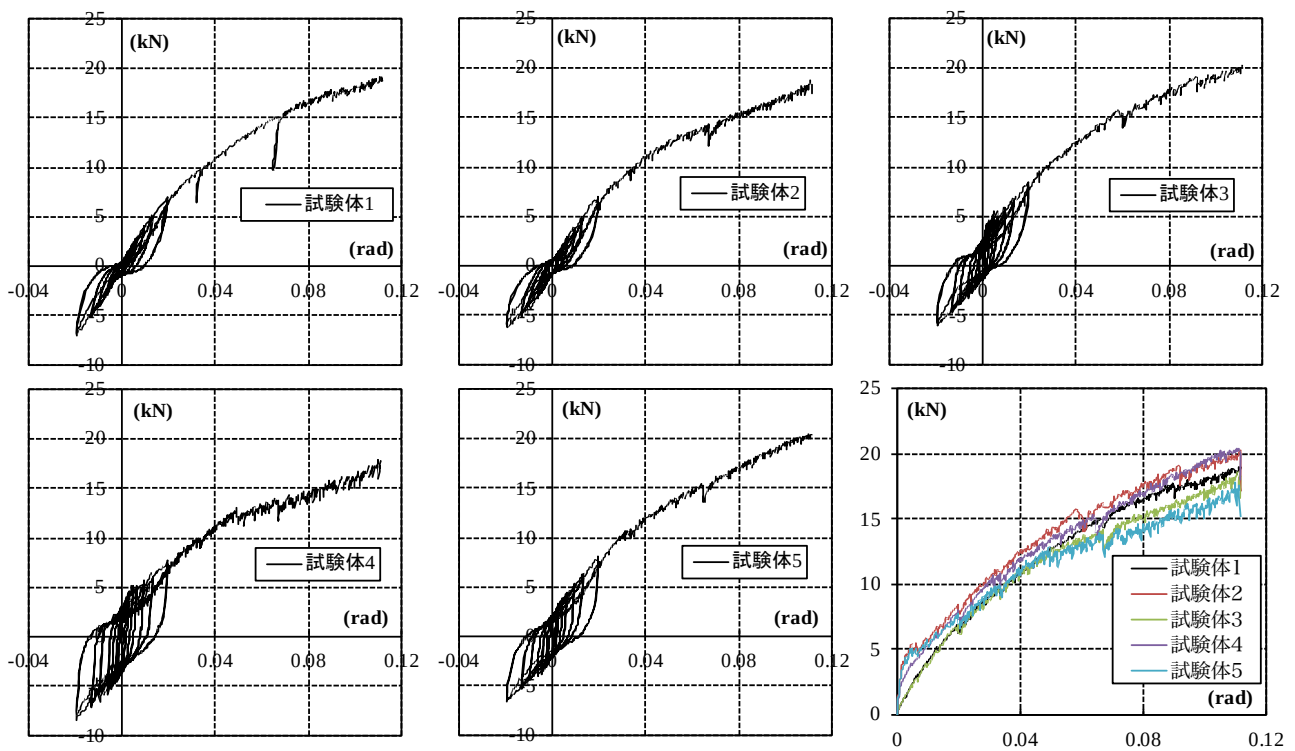


図2 荷重-見かけのせん断変形角関係とその包絡線の比較

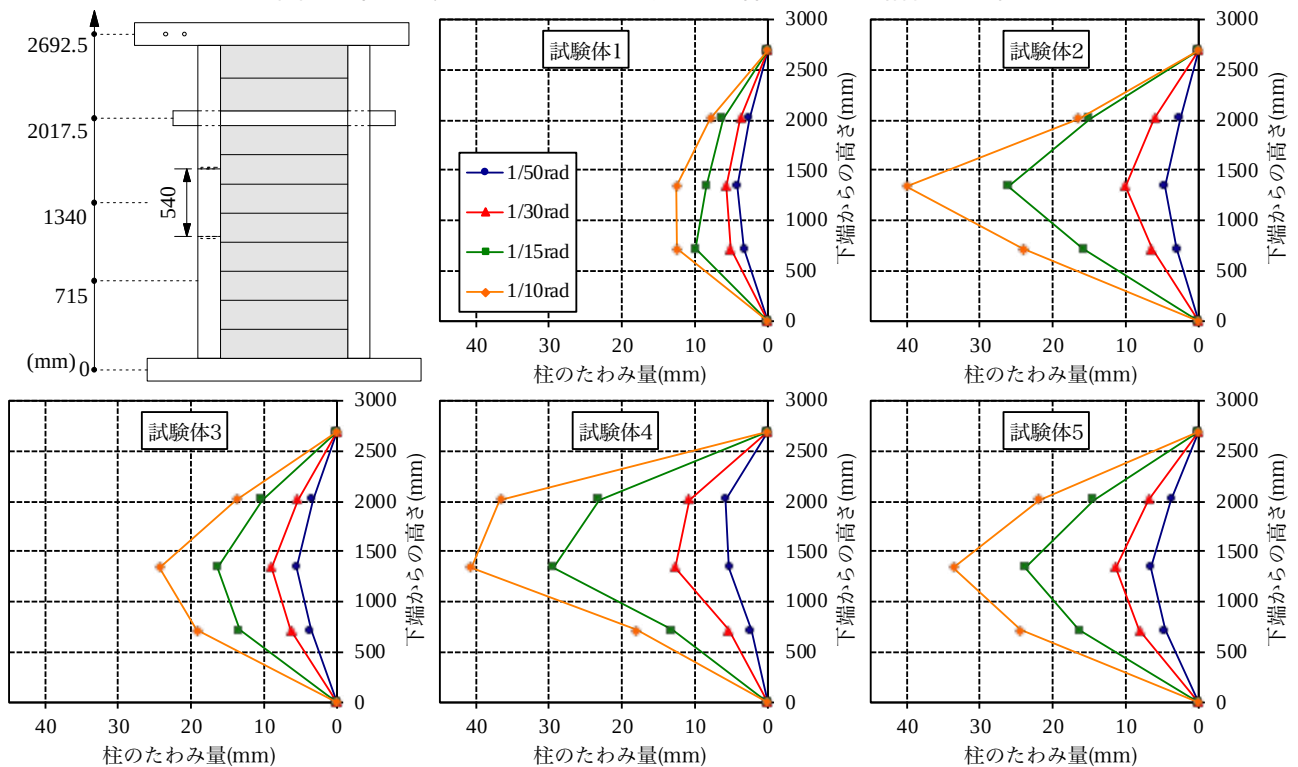


図3 柱のたわみ量の比較と計測点の位置

継手の回転角を板壁構面の見かけのせん断変形角ごとに示したものを図4に示す。なお、強軸方向、弱軸方向の継手の回転角は図5に示す変位計①と変位計②の計測値の差分をその距離で除したものとした。試験体3は見かけのせん断変形角の増加に伴って線形的に増加しているのに対し、試験体2、4は0.02rad付近から急激に増加している。これは割裂により生じた柱の亀裂が広がるのに伴って、継手部分の部材間の隙間が広がったためであると考えられる。また、試験体4では0.08rad付近から継手の回転角の増加量が小さくなったが、これは継手の回転角の算出に用いた変位計よりも上側の位置において部材の折損が進行したためであると考えられる(写真2)。試験体5では、継手の回転角が試

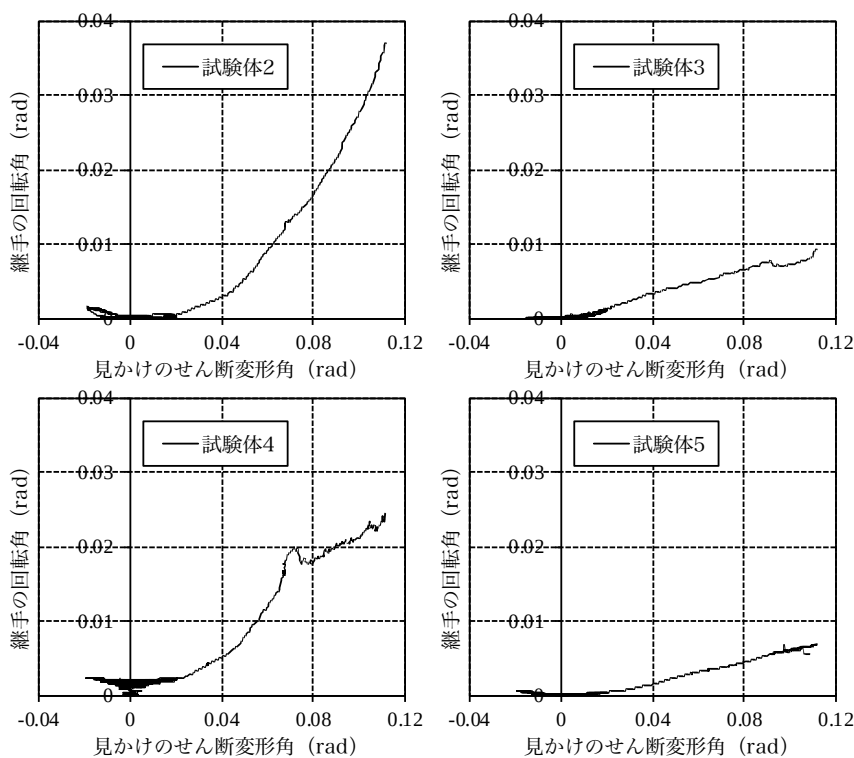


図4 継手の回転角-見かけのせん断変形角関係

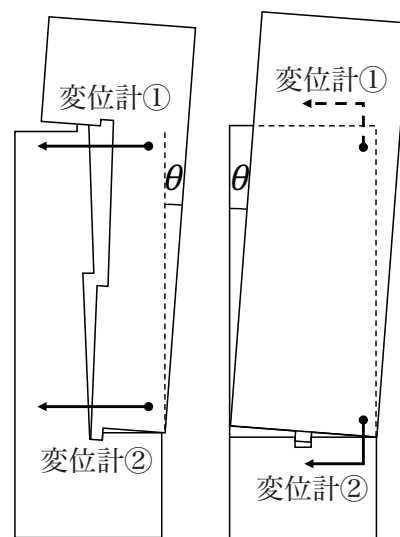


図5 継手の回転角の計測方法
(左：弱軸方向／右：強軸方向)

験体2と比べて大幅に低い値となり、継手部分の部材間の隙間が広がるのを抑制できていることが分かった。

4. まとめ

本研究では、根継ぎを施した柱を有する板壁構面の繰返し載荷実験を行い、柱の根継ぎが構面全体の構造性能に及ぼす影響を考察した。得られた結論を以下に示す。

- 全ての試験体で荷重-見かけのせん断変形角関係に大きな差は見られなかった。
- 継手の切り欠き部分から割裂破壊が発生し、それにより生じた亀裂の進行は弱軸方向で顕著であった。以上より、根継ぎを施すことによって板壁構面の靱性能が低下することを確認できた。
- 柱のたわみ量と継手の回転角の比較により、継手位置で局所的に変形していることが分かり、特に継手が弱軸方向の場合に大きな変形が見られた。
- 継手に鋼材を巻いて補強することで、継手の回転角の増加と、割裂により生じた亀裂の進行を抑制することができたため、靱性能の観点から十分な補強効果が得ることができたと考えられる。
- 継手の有無による変形性状、破壊性状の違いは顕著に見られた一方で、耐力に大きな差が見られなかった原因について、更なる検討を要する。

5. 参考文献

- 1) 根継ぎ部に炭素繊維補強を施した柱の曲げ実験：瀧野敦夫，八神紗良，村上雅英，日本建築学会技術報告集，Vol.24，No.56，pp.141-146，2018.2
- 2) 社寺建築物における板壁構面の繰返し載荷実験と解析的検証：日比野惇，瀧野敦夫，村本真，宮本裕司，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造Ⅲ，pp.177-178，2018.9

謝辞

実験の実施において、奈良県森林技術センターの柳川靖夫氏には多大なるご協力を頂きました。ここに深く感謝の意を表します。

重要文化財堀家住宅 (賀名生皇居) の建築年代調査と当初復原
研究報告要旨

研究代表者 中尾七重 山形大学
共同研究者 大野敏 横浜国立大学
共同研究者 坂本稔 国立歴史民俗博物館
共同研究者 門叶冬樹 山形大学
共同研究者 箱崎真隆 国立歴史民俗博物館

1. 重要文化財堀家住宅について

重要文化財堀家住宅 (奈良県五條市西吉野町賀名生) は、江戸時代以前の古民家である。堀氏は初代熊野別当長快を先祖とし、承久の乱後、賀名生の地に住みついたという。後醍醐天皇と後村上天皇が賀名生に行宮を置き、両天皇に尽くした堀信増は位階を賜ったと伝わる。

1999 年の文化財保存修復工事の調査から、室町末期当初は二階建ての建物だったことが判明した。これは民家研究の常識を覆す知見であった。そこで、松井角平記念財団の助成により、古建築を対象にした放射性炭素 (^{14}C) 年代調査法を用いて堀家住宅の復元研究を行った。



Figure 1 重要文化財堀家住宅 外観

2. 堀家部材の放射性炭素 (^{14}C) 年代調査

^{14}C 年代法は、大気中の ^{14}C を取り込んだ生命体の生命活動終了後、放射壊変により生物遺体の ^{14}C 濃度が次第に減少することを利用した年代測定法で、この研究によりリビー氏は 1960 年にノーベル化学賞を受けている。 ^{14}C 法の古建築適用研究は、中尾と国立歴史民俗博物館研究チームが 2004 年に開始し、現在実用段階に入っている。

堀家部材の ^{14}C 年代調査を行った。文化財保存修復工事で小屋裏に保存されていた非再用部材を中心に、ウィグルマッチ法 (1 部材 3 点の ^{14}C 測定を行い、最外年輪形成年を求める高精度測定) を適用した。 ^{14}C 測定は AMS 法を用いて山形大学高感度加速器質量分析センターが行った。

Table 1 測定データ一覧

部材番号	部材名 番付	表面 樹種	年輪位置 最外層1	測定番号	^{14}C 年代 yrBP $\pm \sigma$	校正年代 calAD	ピーク値 1位 2位
堀1	天井貫 に三	芯持材 マツ	1-5	YU-10015	323 $\pm$ 20	1499-1605 (75.0%)	1633 1527
			9-13	YU-10016	335 $\pm$ 20	1619-1643 (20.5%)	
堀2	梁 ぬ又三〜ぬ七	芯持材 マツ	1-5	YU-10017	359 $\pm$ 20	1478-1528 (60.4%)	1512 1618
			10-14	YU-10018	356 $\pm$ 20	1593-1634 (35.0%)	
			19-23	YU-10019	362 $\pm$ 20		
堀3	天井貫 は七〜に七	四ツ割材 辺材あり マツ	1-5	YU-10020	360 $\pm$ 20	1496-1531 (24.4%)	1604 1514
			11-15	YU-10021	323 $\pm$ 20	1545-1547 (0.3%)	
			24-28	YU-10022	346 $\pm$ 20	1561-1637 (70.8%)	
堀4	桁 は七	芯持材 マツ	1-5	YU-10023	333 $\pm$ 20	1487-1535 (36.4%)	1626 1523
			9-13	YU-10024	349 $\pm$ 20	1558-1641 (59.1%)	
堀5	棟束 又へ	芯持材剥 マツ	1-5	YU-10025	326 $\pm$ 20	1530-1644 (75.8%)	— —
堀6	柱 へ三	ヒノキ	I	YU-10026	324 $\pm$ 20	1533-1645 (75.9%)	— —
						1655-1685 (19.6%)	
堀7	柱 へ四	ヒノキ	I	YU-10027	334 $\pm$ 20	1528-1647 (75.6%)	— —
						1649-1681 (19.8%)	
堀8	差鴨居 へ七〜ち七	板目厚板 ヒノキ	1-5	YU-10028	現代炭素		— —
			21-25	YU-10029	現代炭素		
			41-45	YU-10030	現代炭素		
堀9	柱 ち七	芯持材 ヒノキ	1-5	YU-10031	310 $\pm$ 20	1523-1601 (72.5%)	1538 1642
			8-12	YU-10032	303 $\pm$ 20	1627-1649 (24.9%)	
			16-20	YU-10033	341 $\pm$ 20		
堀10	小屋裏柱 へ四	四ツ割材 ヒノキ	1-5	YU-10034	351 $\pm$ 20	1564-1613 (95.4%)	1577 1591
			21-25	YU-10035	314 $\pm$ 20		
			40-44	YU-10036	280 $\pm$ 20		

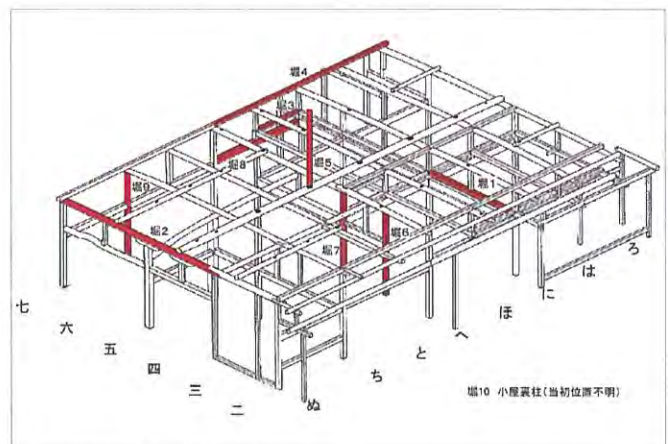


Figure 2 調査部材位置図

測定で得られた ^{14}C 年代を、国立歴史民俗博物館解析ソフト RHC を用いた部材年代の分析で、堀家の部材は 16 世紀前半 (天文頃)、16 世紀末期 (室町末期)、17 世紀前半 (江戸前期) の 3 つの年代に分類されることが分かった。

3. 二階柱と扱き柱

堀家住宅が二階建てだったとする根拠となったのは、二階柱と扱き柱 (コキバシラ) の痕跡である。

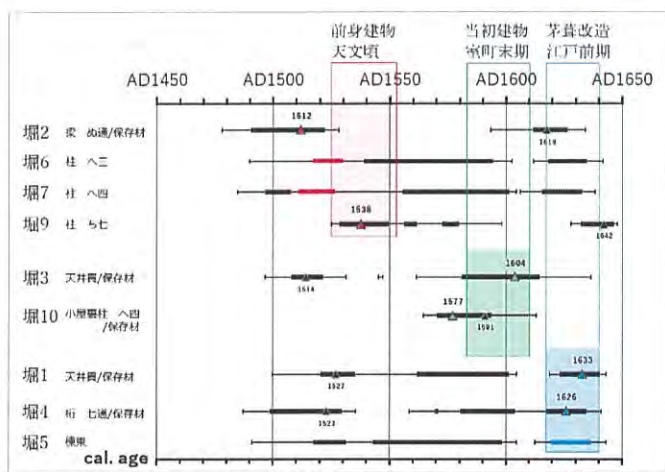


Figure 3 部材年代

堀家の胴梁にホゾ差しされていた小屋束は、その側面に板壁痕や土壁痕や辺付が残り、元は二階柱だったこと、茅葺平屋建て改造の際に二階柱の上部を切断し、小屋束として使用されたことが判明した。二階柱を受ける胴梁は、略鎌で一階柱や扱き柱の側面に取り付く差物である。

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に用いられる柱である。堀家住宅の扱き柱は二階床梁を落とし込んだものと考えられるが、「に四」柱と「ろ七」「に七」「ほ七」束の4本しか残されておらず、落とし込み梁も残されていない。元の扱き位置に天端を合わせて胴梁が差されている。この痕跡から推測されるのは、この4本の扱き柱は、扱き柱構造建物から再用された転用古材ということである。

これまで扱き柱を用いた落とし込み工法は民家の技法と考えられてきた。民家では、内法横架材を落とし込む場合と一階床梁を落とし込む例があるが、堀家の扱き柱のような二階床梁の落とし込みは類例が見いだせない。

一方、鹿苑寺金閣は堀家のような二階床梁の落とし込み工法を用いている。1397年に足利義満が北山殿に建てた金閣は鹿苑寺舍利殿として維持されてきた。1950年に放火により焼失し、1955年に再建・当初復原された。

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）が約180mm角、上部（二階）が約150mm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った。梁行と桁行の落とし込み梁が2階床を支える床梁となっている。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上部に載っている。

二階の荷重を受けるための金閣の落とし込み工法と同

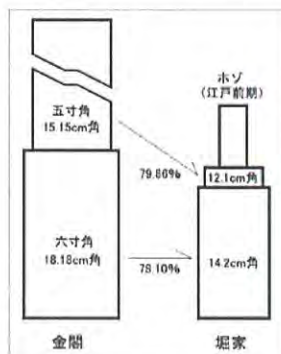


Figure 4 扱き柱比較

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上部下部ともちょうど金閣の扱き柱のおよそ80%である。

以上、二階柱と胴梁と扱き柱を検討し、堀家住宅は、①扱き柱を用いた前身二階建て建物、②胴梁を用いた当初二階建て建物、③扱き柱・二階柱を切り縮めた平屋建て茅葺建物、の3回の変遷が推定された。

4. 町家風復元案の検討

堀家住宅修理工事報告書（1998年）では、当初復元案は切妻二階建ての妻側に切妻平屋建てが接続している。当初材が多く残る土間部は切妻だったことが判明する。土間部に倣い、二階部分も切妻としたのが当初復元案である。4寸勾配で杉板葺きの切妻屋根を持つ二階建て復元案は、町家をイメージしているように思われる。

二階建て町家は、洛中洛外図屏風歴博甲本で確認できる。その景観年代1525年は、¹⁴C年代調査で判明した堀家住宅当初建物の建築年代と近い。室町通の二階建て町家は隣家の平屋建て町家と隣接しているが、間には細長い隙間の空間がある。また、京都の町家は通し柱と胴梁からなる構造である。奈良の町家は柱上に大梁を載せる茅葺民家と同様の構造である。通し柱型町家も大梁型町家も扱き柱は使用されていない。さらに、描かれた二階建て町家は街区中央の住戸で、町並みのなかで特に目立つ。町秩序における役家や身分を表現したと考えられる。近世初期以前の二階建て町家は都市計画・都市秩序の要素として位置づけられ建築された。翻って、堀家住宅は町並みや街区といった都市的要素の全くない山中に立地している。1500年代に賀名生の地において二階建て町家風の建物が建てられる社会的・政治的背景は見いだせない。

5. 丹生川の景観

堀家住宅は丹生川・宮谷川合流点の川べり低地に建つ。防災的に不適切な立地であるにもかかわらず堀家住宅がここに位置するのは、景観環境によるためである。

堀家住宅八畳の間の襖絵は、丹生川から堀家住宅を描いている。「賀名生古行宮真趣 庚戌春日敬寫前景」の詞



Figure 5 堀家住宅の立地

書は、古行宮の真の趣が滝や巨岩の溪谷美に現れるという。古行宮のイメージを投影する景観こそが、堀家住宅がこの位置でなければならない理由と考えられる。さらに、堀家住宅の背後には、北畠親房墓所が遠望できる。

6. 地下遺構の検討

文化財保存修復工事時に、住宅部分の地下調査が行われ、AからHまでの8本のトレンチが入れられた。現状の地表より約30cm下に旧地表面の層があり、旧地表面（緑色部分）「は通〜C通」間と判明した。「は通」より東側は、石垣による整地以前は地盤に沿って丹生川に下っていた。「と通」東側の葛石11個は東側を化粧として据えられており、「と通」東側が旧地表面、西側はそれ以降の時期に現状の地表面が築かれた事が分かった。

六通り南側に葛石と同じ高さの礎石が検出された。礎石間隔の2.3mを基準寸法と仮定すると、東西6.9m、南北

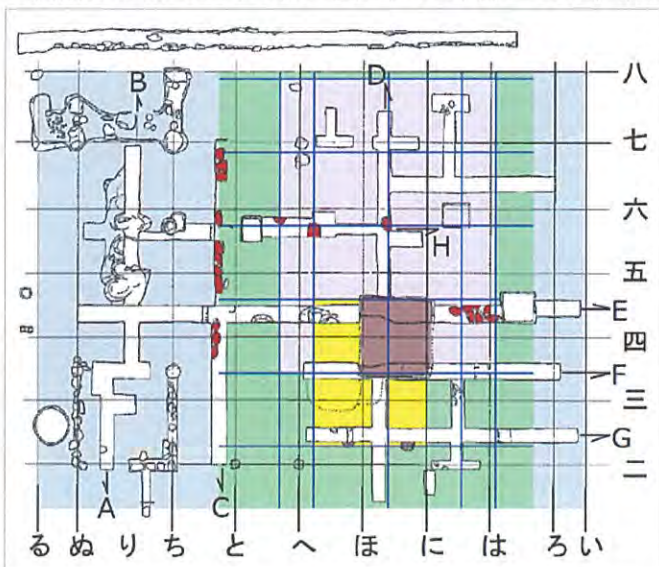


Figure 6 旧地表面推定復元

・地下調査区域図（修理工事報告書）に2.3m基準のグリッド作成
赤色：礎石・葛石・敷石、茶色：竪穴・掘立柱、桃色：前身建物、黄色：火災区域、緑色：旧地表面屋敷地、灰色：現状地表面屋敷地

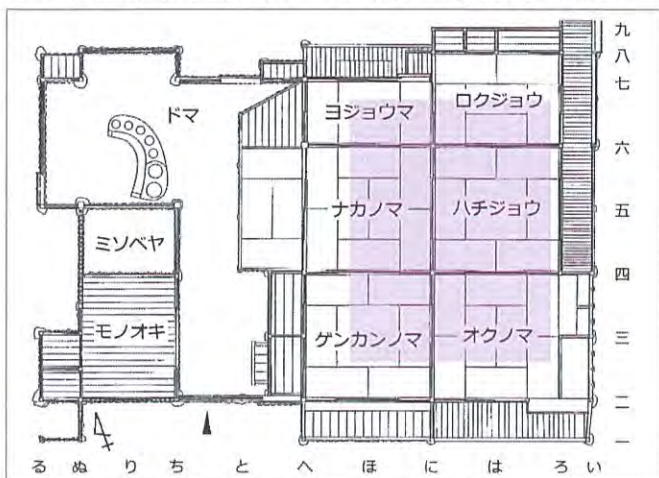


Figure 7 堀家住宅現状平面図 推定前身建物の広さ（桃色）

9.2m すなわち四間二面の前身建物が推定復元される。この前身建物規模は、当初建物の2階建て部分に該当する。

四通の方形竪穴（東西2.4m×南北2.5m、深さ1.4m）は壁面が垂直に掘られ、前身建物の遺物と思われる炭化木片・焼けた壁土・竹石混入焼土で埋土されていた。

G通に、掘立柱炭化柱根2本とその下部に根石が検出された。柱根と方形竪穴付近は焼土が堆積しており、火災領域が推定される。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。

以上より、火災以前は前身屋敷地（緑色）に二階建て前身建物が建っていた。前身建物に付属する掘立柱建物が焼失し、二階建て前身建物は焼け残った。火災後に30cmの盛土・整地をして屋敷地を広げ、当初建物が建てられた。当初建物の礎石や地表面に火災の痕跡は無い。

以上、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〜通」、Ⅲ期：南側を整地、長屋門建設（江戸時代前期）、となる。

7. 堀家住宅の変遷

堀家住宅の変遷については、修理工事報告書で「①当初（室町末）切妻造、植物性屋根葺、土間より1間東で落屋根」、「②当初改造 壁面補強」、「③1次（江戸初期）入母屋造茅葺」、「④2次（江戸中期）土間広敷増設、北側出入口変更」、「⑤3次（江戸後期）柱間装置の変更」、「⑥4次（江戸末期）南側に式台増設、土間に室増設」、「⑦5次（明治）大改造、差鴨居、床の間、便所」と7回の変遷が記されている。

建物の変遷①〜③と、発掘による屋敷地の変遷Ⅰ〜Ⅲと部材年代を対応させると、【①Ⅰ16世紀前期】、【①②Ⅱ16世紀末期】、【③Ⅱ17世紀前期】となる。①は前身建物、①は当初建物、②は現状建物（重文堀家住宅）である。

Table 2 屋敷地と建物の変遷

変遷	Ⅰ期	火災	Ⅱ期	天禄化	Ⅲ期
西暦	16世紀前半	16世紀末期	16世紀末期	1616年	17世紀前半
屋敷地	は通〜と通	又二通〜又四通 火災	屋敷地拡大 い通〜通		い通〜通
建物変遷	前身建物		当初建物		1次建物
二階建て建物	庭園建築 は又F〜又F〜 又又六〜又又六	一部被災 南側掘立柱建物焼失	ろ二〜ほ二 ほ七〜ろ七	二階建て 建物と土 間部建物	平屋建てに改造 茅葺入母屋 い〜ぬ二 ぬ七〜い七 門
土間部建物	庫裏建物 切妻妻入 別の場所	無事	ほ二〜ぬ二 ぬ七〜ほ七	を合体 杉皮葺	

Ⅰ期に建てられた二階建て建物（前身建物①）は扱き柱の落とし込み構造であったが、Ⅰ期の終わりに火災によりいったん解体された。そしてⅡ期に屋敷地が拡大され、平屋建て一部二階建ての建物（当初建物①）が建てられた時に、扱き柱が再利用され、胴梁構造に変更された。

土間部は当初材が多く残存しており、最初は平屋建ての切妻屋根だったこと、板葺きか杉皮葺だったことが判明している。土間の梁と柱（堀2、堀9）は16世紀前半の年代となったが、Ⅰ期には土間部分の敷地は存在しない。

「ぬ通」まで敷地を拡げたのは火災後のⅡ期である。上屋根には当初以前の痕跡もあり、前身建物が存在した可能性がある。すなわち、当初土間部一階建て建物（Ⅱ期）以前に、別の場所にあった前身土間部建物（Ⅰ期）を移築改造して当初土間部建物が建てられたと考えられる。

8. 前身二階建て建物

丹生川に面した景観を庭園に見立てた堀家住宅は、浄土庭園における庭園建築と考えられる。堀家住宅の復元に見出される扱き柱、二階建て以上、杉皮葺きの緩い屋根勾配などは、鹿苑寺金閣と共通性を持つことが窺える。

堀家の扱き柱は一辺のサイズが金閣の80%であった。金閣は平面規模が11.7m×8.5mで、堀家前身建物の大きさは推定9.2m×6.6mなので、金閣のほぼ80%の大きさとなる。高さについても、金閣の二階屋根の稜線を延長すると二階棟高は約30尺で9.09mである。修理工事報告書で推定された堀家前身建物の二階棟高は7.2mであるから、高さも金閣のほぼ80%となる。以上より、堀家前身建物は金閣の80%のサイズで作られたと考えられる。金閣など庭園建築は最上層が遮滅しているので、堀家前身建物にも三階あるいは四注屋根の明り取りなど外観を整えるための構造物があったと推測される。

9. 前身土間部建物

堀家住宅土間の部材はⅠ期（16世紀前半）の年代を示している。現在の土間の敷地はⅠ期には存在しないので、Ⅰ期に現在の敷地ではないところに建てられ、火災後に現在の位置に移築され、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、勾配が緩く杉皮葺きか板葺きの切妻屋根で、屋内土間の大きい間取、そして2本の差梁が桁行に両差しで渡り下りる差物架構を持つ。このような上部荷重を受ける差物架構は、中世寺院建築付属屋や近世禅宗寺院庫裏に見られる。

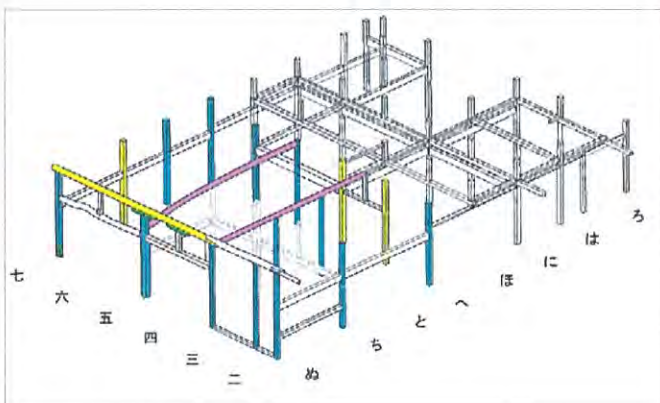


Figure8 堀家住宅架構図土間部

黄色:年代調査部材、青色:柱、桃色:差梁、緑色:舟肘木

堀家住宅の切妻妻側出入口が復原される「ぬ通り」に舟肘木が存在する。切妻妻側に出入口があり、妻面に舟

肘木のある建物は禅宗寺院の庫裏である。鹿苑寺にも切妻妻入りで舟肘木の妻飾りの庫裏がある。堀家住宅前身土間建物も切妻妻入の庫裏建物であった可能性が高い。

10. 堀家前身建物建設の背景

堀家住宅は賀名生皇居の由緒を持つため、常に政治的動向に影響されてきた。北畠親房の墓所の存在は、堀家住宅の立地と建設に大きな意味を持つと考えられる。北畠親房は後醍醐天皇の側近筆頭で、「神皇正統記」を執筆し、南朝を率い、1354年に賀名生で没した。

親房以降、北畠氏は伊勢国司・守護を務めた。七代晴具は天文（1532-1555年）頃に大和に侵攻した。北畠氏の支配に応じ、親房墓所が整備され、南朝を偲ぶ庭園建築（堀家前身建物）が建てられたと考えられる。

堀家には、南朝由緒の品々が伝えられている。「日の丸の旗」は後醍醐天皇の下賜品と伝わる。¹⁴C年代測定の結果、1463～1528年あるいは1553～1634年に作られた絹製であることが分かった。15世紀後期～16世紀前期の年代は堀家住宅前身建物の建築年代と一致する。絹糸の太さや形、織り方も室町時代ごろの特徴と一致するという。北畠晴具の大和侵攻を契機に、堀家と北畠氏が北畠親房顕彰および南朝追慕の一大事業として住宅建設や遺品作成を行ったと考えられる。その背景には、「花の御所体制」が在地有力者にも及び、日本各地に室町殿「写し」の建物が建設されたことがある。

11. 堀家前身建物の復元

堀家前身建物復元景観図を作成し、木製パネルに納めて堀様に寄贈した。今後堀家住宅において、展観に供してくださる予定である。



Figure 9 堀家住宅前身建物復元景観図

謝辞 重要文化財堀家住宅堀丈太様、元奈良県教育委員会文化財保存事務所主幹吉井博様、竹中工務店伝統建築グループ上田忠司様、エル・ライブラリー（大阪産業労働資料館）特別研究員下久保恵子様、阿部和建築文化研究所安井妙子様、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。

はじめに

本稿では、中世仏堂で採用された細部意匠・技法の系譜を検討するため、また、折衷様建築の多様性を東アジア建築史の枠組みから再定義する基礎作業として、東アジア海域でしばしば見られる移柱・減柱と、この技法に深く関わる台輪と貫、さらには中国建築史にみる減柱造と額の存在に注目したい。

1 流通する台輪

禅宗様建築の典型例となる円覚寺舍利殿をみると、台輪は側廻のほか、内部空間主屋の大瓶束と来迎柱を通る頭貫上に載せられ、各々の上端で詰組が成立していることがわかる(図1)。この台輪は中国語で「普拍方」と呼び、中村達太郎の『日本建築辞彙』によれば「上物を支承または下物を覆う」もの、『日本国語大辞典』によれば「上の物を支え、さらに下の物を覆う役割をする」ものと説明される。また、『《营造法式》辞解』によれば、柱頭あるいは頭貫の上にあるもので、鋪作の大斗が上に載るものと説明がされている。日本の建築史家や修復技術者は、台輪をその上端に詰組を乗せるために、大斗を安定させる横架材という理解をたびたび示すが、これら辞書上の「下物を覆う」部材としての指摘は管見の限り既往研究などで見出せない。

台輪は薬師寺東塔などの古代の仏塔ですでに用いられてきた。禅宗様建築でみるような詰組とワンセットで用いられた事例は、法隆寺の境内に移築された富貴寺羅漢堂が初見である。顕密寺院の中世仏堂で本格的に台輪が用いられた初例は、栃木県にある鍔阿寺本堂である。鍔阿寺本堂は禅宗様建築に類似しており、円覚寺舍利殿と同様に側廻にくわえ室内にも台輪が用いられ、かつ頭貫と飛貫と併せてワンセットで用いられている(図2)。山口県の功山寺仏殿や和歌山の善福院釈迦堂といった黎明期における禅宗様建築の側廻と室内でも、台輪は頭貫や飛貫とともに用いられている。西国や鎌倉に留まらず福島県をはじめとする東国には禅宗様建築の影響を受けたものが数多く現存するが、側廻と室内において、台輪が同じように頭貫・飛貫

とワンセットで用いられたものが多数散見される。

この台輪と頭貫・飛貫の取捨選択をめぐって、関西や瀬戸内の顕密寺院では様相が若干異なる。例えば、香川県の本山寺本堂は台輪がなく、頭貫と飛貫で架構が固められているし、和歌山県の長保寺本堂では、内外陣境において頭貫と飛貫で軸部が固められているが、台輪が無い。後者には、台輪が無いにもかかわらず中備組物があることにも留意しておきたい(図3)。また、広島県の明王院本堂では、側廻にのみ台輪が用いられ、頭貫・飛貫とセットで軸部が固められているが、室内では台輪が用いられていない(図4)。

2 台輪と頭貫の取捨選択

このようにみると、台輪は確かに禅宗様建築に多くみられる一部材だが、この様式固有のものというわけでは無いことが分かる。また、東国では側廻のみにとどまらず、禅宗様建築と同様に早いうちから内部空間でも用いられる傾向にあった。おそらく、鎌倉で造営された禅院建築からの影響があったためと思われるが、いっぽうで関西や瀬戸内における顕密の中世仏堂では、台輪が側廻のみで用いられるなど、一部の採用だけで留めるものが散見される。頭貫と飛貫のみで柱上の軸部を固めたものが多いことにも留意しておきたい。台輪が単独で流通したさまを窺い知れよう。

頭貫は、日本では法隆寺以前から存在し、例えば山田寺回廊でもすでに用いられていた(図5)。この頭貫について大森健二は、古代の頭貫は横架材としての意義はあまりなく、構造材として効かせるためには断面寸法を大きくして合理的な仕口の緊結が必要だったと説く。そして、その後、鎌倉期以降にいわゆる大仏様や禅宗様の建築が登場すると、のちに頭貫の断面が扁平に、かつ成も大きくなっていくという。

この現象に併行して、大仏様の影響もあって飛貫などの頭貫以外の貫が登場し、この頭貫と飛貫とのセットにより建築の軸部がより強固になっていくことに留意したい。関西や瀬戸内の顕密寺院に頭貫と飛貫のみのセットが多い傾向にある背景について、この地域で大仏様建築の影響を受けた東大寺系の工匠が活躍したこととも決して無関係

ではないだろう。一方の東国では、頭貫・飛貫にくわえ台輪をセットに採用したものが相対的に増えていく。後者の現象は、鎌倉の禅院建築の影響もあったものと思われる。

この飛貫であるが、大仏様建築の典型例となる浄土寺浄土堂の軒下のものが早い事例となる。頭貫と飛貫のセットは、鎌倉期には東大寺を中心にみられ、東大寺法華堂礼堂や東大寺鐘楼などでみることができる。また、元興寺極楽坊本堂では、扉を吊るための藁座を設けた飛貫が用いられ、京都の蓮華王院本堂では軸部の強化を意図した飛貫が用いられるようになる。他方で、先にも触れたとおり、東国に位置する栃木の鍔阿寺本堂では、頭貫と飛貫と台輪がワンセットで用いられている。

3 頭貫を覆う台輪

ここで改めて、台輪が組物を乗せ、かつ頭貫を覆う部材であることに留意したい。左図が大仏様の頭貫の模式図(図6)、右図が鍔阿寺本堂の飛貫・頭貫・台輪をワンセットで用いた状況の図となるが(図7)、頭貫のみを用いた場合、柱の頂部をかき込み、頭貫を上部から輪薙込み、大斗を上からかぶせて脳天を釘で打ち固め、その上に組物を設置する。さらに台輪を用いた場合は、頭貫の上に台輪を載せ、その上に組物を設置して小屋組や軒の荷重を承ける。

この技法上の特徴をふまえ、中国の事例をみてみよう。中国に現存するもののうち、台輪の初例となるものは山西省に位置する大雲院弥陀殿である。ただこの事例では、まだ室内では台輪が用いられておらず、側廻のみで用いられている(図8)。時代が下って、下華嚴寺薄伽教藏殿では室内でも台輪が登場するようになる(図9)。この台輪は遼代・北宋代以降から中国河北地方の建築でしばしば用いられるようになり、さらに時代が下ると、例えば山西省襄汾の関帝廟のように、詰組ではないけれども台輪が用いられる事例など、日本ではあまり見ないバリエーションが中国全土で確認できるようになる。

ところで、日本の事例において、組物は必ず柱上にくわえ中備の位置に配置される。中国の場合も、金代以前の遺構を紐解くと、柱上に組物が無い事例は管見の限り見当たらない。柱上に組物を置かず、かつ柱心と異なる場所に組物を置くと、構造上バランスが悪くなり、仮に横力がかか

った場合に頭貫が抜けてしまう。頭貫が抜けないようにするためにも、輪薙込んだ柱上で組物を置く必要が生じる。

この構造上の特性をふまえ、台輪の機能についてあらためて考えてみたい。先に辞書上の意味を確認したように、台輪が下の部材を覆う積極的な役割とは一体何か。考えるに、この部材は頭貫が外れないよう上から覆い、かつ組物をその上に安定して置くことができるものとしての役割が期待されたのではないだろうか。詰組はこの場合、輪薙込んだ頭貫が抜けないようにするため、小屋組や軒先の荷重を均等に伝える重しとして存在したと考えられるのである。

4 減柱造と額・台輪

以上をふまえ次に留意したいのは、これらの横架材が、中国における桁行方向の減柱や移柱とも深く関わることである。

桁行方向にみる減柱造の初例として仏光寺文殊殿が挙げられる(図10)。内部をみると、来迎柱が立ち、そこに頭貫(欄額)が輪薙込まれ、飛貫(由額)が挿し込まれ、各々が妻柱にまで架けられることで、背面入側筋のそのほかの柱が省略されていることがわかる。支柱が後補として追加されているので、結果としてこの試みが構造的に破綻したことをうかがえるが、桁行梁のような巨大な貫が大きく架けられ、本来あるべき柱を省略するよう試みられたことに大きな特徴を見出せる。中国建築史ではこの頭貫を一般に内額とも呼ぶ。

この架構はほかにもみられ、例えば山西省朔州にある崇福寺弥陀殿では、背面入側筋の柱が正面側廻の柱筋と揃っていないが、これも内額を用いることで内部空間が減柱・移柱されたことで可能になったものだ(図11)。岩山寺文殊殿では内額の下方で綽幕方と呼ばれる貫とも肘木とも見て取れる部材が来迎柱に挿し込まれ、背面入側筋で移柱が生じている(図12)。

額を用いた減柱と移柱は、山西省中・南部や陝西省東部、いわゆる黄河流域でさらなる多様化を呈するようになる。大雲寺大雄宝殿では、内部空間を見ると、正面入側柱に妻壁から延びた綽幕方が挿し込まれ、その上に内額が載っていることがわかる(図13)。興味深いのは、今までみてき

た内額が柱頭を欠き込んだ凹部に輪薙込んでいたのに対し、この事例では内額の下半分ほどのみ輪薙込まれ、内額がまるで頭貫と台輪が複合したもののようによびわかれていることである。そして、この巨大な内額により中央間の柱が減柱されているのである(図14)。

武邑にある会仙觀三清殿では、巨大な額が側廻正面に用いられている。側廻りで軒を支承する位置にあるため、この額は檐額と呼ぶ。興味深いのが、ここでは綽幕方が一部で頭貫のように用いられ、その上に檐額が台輪のように上から載せられていること、そして側面をみると、一般的な台輪と頭貫が採用され、この台輪と頭貫の成と檐額の成とがほぼ一致していることである(図15)。位置および構造上、檐額が台輪と頭貫の代替として用いられているのである。

5 額・台輪と柱配置の融通性

山西省呂梁にある金代に創建された香嚴寺毘盧殿では、一般的な台輪と頭貫が用いられているが、正面入側筋では輪薙ぎ込まれた柱上の頭貫に、内額とも台輪とも見て取れる巨大な部材が載り、かつこの部材も半分ほど柱の凹部に輪薙ぎ込まれている。この事例で留意すべきは、この額が用いられた中央間の柱上に組物がなく、額の上で柱位置をずらすように組物と梁が移動させられていることである。額が台輪のように用いられ、かつその上の組物と梁の取り扱いに新たな展開が見てとれるのである(図16)。

運城の清涼寺大雄宝殿も同様に、正面入側筋において、柱頭に綽幕方が輪薙込まれ、その上に内額が台輪のように載せられている(図17)。同地域に現存する芮城城隍廟享亭では、正面入側筋において綽幕方上に檐額が設けられている(図18)。このような架構を用いた類例が同地域で少なからず散見されるが、ここで興味深いのは、正面脇間の一部と側面で一般的な台輪と頭貫が用いられるのに対し、正面脇間の一部において檐額と一般的な台輪それぞれの上端が揃うよう双方が接続していることである。額と台輪・頭貫が区別されていると同時に、額と台輪が組物の高さを揃えるための横架材として同様に機能しているのである。

官衙建築の一つとなる臨猗州署大堂では、綽幕方の上に

檐額が設けられることで、正面の軸部が構成されている。内部に設けられた一般的な台輪と頭貫をセットで用いた架構と区別されていることにも留意すべきである(図19)。また、汾陽五岳廟五岳殿では、同じような方法で正面側廻の架構が形成されている(図20)。とくに留意したいのは、木口を見ても明らかなように、綽幕方の上に設けられた檐額が、香嚴寺毘盧殿の場合と同様に部材の半分ほどまで輪薙込まれ、かつ台輪と頭貫各々の部材の形が区別されるよう象られていることである(図21)。

禹王廟献殿は、額を用いることで組物の位置が自由に決定された事例となる。いわゆる柱上組物や中備組物といった区別、あるいは多包柱か否かといった区別が通用しない事例となる。正面は桁行三間となるが、背面は桁行五間となる。巨大な檐額を用いることで、その上の組物と梁の位置が柱心からずれている。額の上下で架構が分離しているため、正背面の柱間の差異が許容された事例となる(図22)。

晋祠廟献殿は献殿や戲台といった儀礼を行う建築である。このビルディングタイプでは、檐額あるいは巨大な台輪が設けられた事例が多々みられ、かつこの事例も柱上の一部に組物が無い事例となる。霍州觀音廟過街閣楼では、内部を見ると一部に一般的な頭貫と台輪を用いた軸部があり、奥の基壇上において綽幕方上に巨大な内額に似た巨大な台輪のような部材が設けられ、移柱が成立している。そしてこの事例においても、組物位置も柱心から若干ずれている(図23)。これもこの巨大な横架材があるからこそ可能となった事例である。

6 柱の省略・移動と横架材

このような技法が、中国の同地域を中心に、官衙建築や仏教建築などのさまざまなビルディングタイプで用いられている。額という巨大な横架材のおかげで、移柱や減柱の多様化が、とくに中国の黄河流域周辺でさまざまに展開したのである。ここで留意したいのは、仏光寺文殊殿をはじめとする減柱造の事例や、額を用いた減柱・移柱の事例、そして柱と組物位置をずらした事例において、支柱が後補として設けられる傾向にあることである。移柱や減柱といったある種のアクロバティックな技法が金代から元代に

かけて果敢に試みられてきたものの、その結果、支柱がないと構造的に破綻してしまう結果が散見されるのである。明代にも同様の技法が一部で継承されるが、このような失敗の経験が継承された可能性がある。といういのも、元代や金代と比べるとこのような建築構造的に果敢な試みは沈静化してゆくのである。

中国建築史でいう桁行方向にみる減柱造の発生と額の展開をみてきたが、日本の事例と併せて振り返ると、宋代から元代にかけて、あるいは鎌倉時代から室町時代にかけて、頭貫と飛貫にくわえ頭貫と台輪、あるいは綽幕方と額のセットが架構に用いられるようになった。しかし、綽幕方と額は日本へ「本格的には」入ってこなかった。他方でこの架構は、中国金・元代の建築において移柱・減柱との関わりでしばしば用いられ、やがてこの技法が起因して、額あるいは台輪上の組物が柱心の位置から解放され、額あるいは台輪を境に上下で架構の論理が分離していく（図24・図25）。

中国では庁堂の場合、遺構をみる限り山西省で萌芽した減柱・移柱が黄河流域で大々的に展開するようになり、さらには巨大な額あるいは台輪のおかげで、その上の組物と虹梁がその位置を柱位置からずらせるようにもなったと考えられる。中国の宋代以前の建築では、頭貫だけを用いたもの、あるいはその上に台輪を被せたものが展開し、柱上に組物が設置された。この台輪を用いた架構は、日本では詰組を用いた禅宗様建築として、朝鮮半島では多包式の建築として展開した。おそらく、台輪が組物を安定して置くための台として、さらには頭貫が外れないための覆いとして機能したのではないか。他方で、中国の黄河流域では、頭貫にくわえ巨大な台輪のような重量級の額が用いられる。ゆえに、柱心の上に組物を置かなくても、仮に横力が加えられたとしても頭貫が外れないよう造営することが可能になったのではないかと考えられるのである。

おわりに――唐招提寺講堂の桁行梁

東アジア海域における台輪の系譜をみると、まず中国の山西省の北部で誕生し、それが山西省の南方や河南省へと展開する。時代が下り金・元代になると、日本や朝鮮半島ではみることができない建築、すなわち台輪が巨大化した

ような額を用いた架構が登場し、それとともに移柱・減柱した建築が登場する。そして、額あるいは台輪を境に、その上下で構造が分離する現象、すなわち組物と梁の位置が柱位置とずれる技法が展開していった。

では、この金・元代に展開した額と減柱・移柱の技法が日本の中にまったく入ってこなかったのかというと、実はそうではないと思しき事例が想起される。その事例が、唐招提寺講堂である。13世紀の鎌倉期に大々的に修理された建築だが、内部空間を見ると、減柱を試みた巨大な桁行梁が確認できる。これはまさに内額の一種と見ることができる事例である。しかし、ここでも支柱が後補として設けられているため、構造的破綻をきたしたことが見て取れる（図26）。

中国の黄河地方で展開した桁行方向にみる減柱・移柱とそれを可能にした架構法が、実は日本の鎌倉時代に一部入ってきたのではないか。しかしながら、何かしらの理由で、このような巨大な横架材による桁行方向の減柱が普及しなかった。この唐招提寺講堂は、支柱が必要とされるがゆえ、残念ながら構造的に失敗に終わったのではあるが、このような新しいテクニク・カルチャーの実践を果敢に試みた、極めて貴重な事例に位置づけられるのではないだろうか。

※本稿は2018年2月25日に開催された東アジア木造建築史研究会（主催：鈴木智大、於：奈良文化財研究所）での発表「中世仏堂の移柱・減柱と東アジア―貫・梁・台輪をめぐる―」の一部をもとに、2018年度松井角平記念財団研究助成をもとに実施した研究・調査をふまえ、再構成したものである。

なお、本稿4頁版は紙幅の関係から図版を省略した。

平成 30 年度研究助成課題
振動調査に基づく伝統的木造社寺建築の積雪荷重の評価

研究報告(要旨)

1. 研究の背景と目的・方法

本研究は構造設計や診断に関する基本的な事項のうち、積雪荷重に着目したものである。木材の強度は荷重継続時間に依存し、多雪地域における伝統的木造建築物の構造計算では積雪荷重の適切な算定が肝要である。しかし、伝統的木造建築物の屋根積雪荷重に関わる研究報告例は極めて少ない。本研究は、多雪地域に建つ伝統的木造建築物の無積雪時と積雪時の振動調査を行うとともに、構造解析を行い、伝統的木造建築物の積雪荷重に関する知見を得ることを目的としている。



多雪地域に建つ伝統的木造建築物として、山形県寒河江市・本山慈恩寺の本堂(国指定重要文化財,1618 年)および同寺三重塔(県指定有形文化財,1830 年)を調査対象とした(写真1参照)。これらの文化財建造物の常時微動測定、地震モニタリング、構造解析を行った。屋根積雪は屋根葺き材の影響を受けるが、本堂は茅葺屋根、三重塔は銅板葺きであった。



写真 1 慈恩寺本堂
と三重塔

2.建物の重量測定

屋根積雪荷重の評価では、建物そのものの重量を知る必要がある。使用木材の樹種を推定するとともに含水率の測定から、無積雪時の建物重量は、本堂が約 1880kN、三重塔が約 490kN と算定された。本堂の重量は文化庁の重要文化財建造物耐震診断参考資料集に基づく計算値より約 30%小さくなった。一方、同資料集に示されている仏堂の平面積と建物重量を用いて、屋根葺き材ごとの平面積－建物重量関係の近似式を求めると、慈恩寺の建物重量は茅葺屋根の近似式とおおむね対応した。

3.無積雪時の常時微動測定

基本的な振動特性を把握するために、2019 年 9 月 8～10 日に、無積雪時の本堂と三重塔の字常時微動測定(人力加振による自由振動実験を含む)を行った。測定は高感度速度計 12 台を用いた。表 1 に常時微動測定から求めた固有振動数、表 2 に自由振動実験から求めた減衰定数を示す。

表 1 常時微動測定による固有振動数

	EW		NS	
	1次 (Hz)	2次 (Hz)	1次 (Hz)	2次 (Hz)
三重塔	1.45	3.65	1.36	3.40
本堂	1.73	3.05	1.75	3.21

表 2 自由振動実験による減衰定数(並進 1 次)

	減衰定数(%)	
	EW	NS
三重塔	3.2	3.1
本堂	1.9	2.3

4.積雪時の常時微動測定

2020 年 12 月～2021 年 2 月の冬季には、6.に示すように十分な積雪があり、積雪時の本堂の常時微動測定を 2021 年 1 月 23 日に実施した。さらに、2021 年 2 月 6 日に雪下ろし作業終了直後の常時微動測定を行った。三重塔にはこの両日ともに屋根積雪がみられなかったため、積雪時の微動測定は行っていない。2019 年 9 月に無積雪時の本堂および三重塔の常時微動測定を実施しているが、測定成分数を 12 成分から 9 成分に減らしたことから、センサー設置位置が正確に 2019 年 9 月の測定点と同一とは限らないことから、再度、無積雪時の常時微動測定を 2021 年 7 月 22 日に実施した。屋根の積雪状況は 6.に示す。表 3、表 4 に積雪量による本堂の固有振動数の変化を示す。さらに、固有振動モードの変化を図 1 に示す。固有振動数・固有振動モードは、基壇に対する梁上の速度記録の伝達関数から求めたものである。

表 3 積雪量による東西方向(桁行方向)の固有振動数の変化

	積雪時	雪おろし時	無積雪時
測定日	2021.1.23	2021.2.6	2021.7.22
固有振動数(Hz)	1.13	1.29	1.56

表 4 積雪量による南北方向(梁間方向)の固有振動数の変化

	積雪時	雪おろし時	無積雪時
測定日	2021.1.23	2021.2.6	2021.7.22
固有振動数(Hz)	1.26	1.40	1.70

表 3、表 4 および図 1 より、屋根積雪状況が固有振動特性に及ぼす影響を考察する。

東西方向(桁行)の並進 1 次固有振動数より、建物の剛性に変化がないと仮定すれば、耐震重量は無積雪時を基準とすれば、雪おろし時 1.30 倍、積雪時 1.91 倍に換算される。

一方、南北方向(梁間)の並進 1 次固有振動数より、建物の剛性に変化がないと仮定すれば、耐震重量は無積雪時を基準とすれば、雪おろし時 1.23 倍、積雪時 1.82 倍に換算される。

屋根積雪量や分布が同等に増大しても、固有振動数の変動から算定される耐震重量の増加割合には東西方向と南北方向でやや差がみられる。積雪時の耐震重量は、無積雪時の 1.8～1.9 倍であり、耐震安全性の面からみれば、無視できない質量増大である。また、積雪時から雪おろし時の固有振動数の変化によれば、積雪時耐震重量は約 2/3 倍に減じており、耐震的にも一定の効果がある。ただし、雪下ろしによっても屋根には雪が残り、その耐震重量は無積雪時に比べて 23～30%ほど大きい。

図 1 によれば、南北方向(梁間)方向の振動モードには積雪による変化はほとんどみられない。しかし、東西方向(桁行)は、無積雪時の振動モードから、雪おろし時・積雪時は大きく変化している。雪おろし時と積雪時はほぼ一致している。これには、前述のように、微動レベルでは、冬季の雪囲いによる剛性効果が東西方向に大きい可能性がある。積雪による屋根構面の剛性の変化

や、接合部の剛性の変化なども要因となる

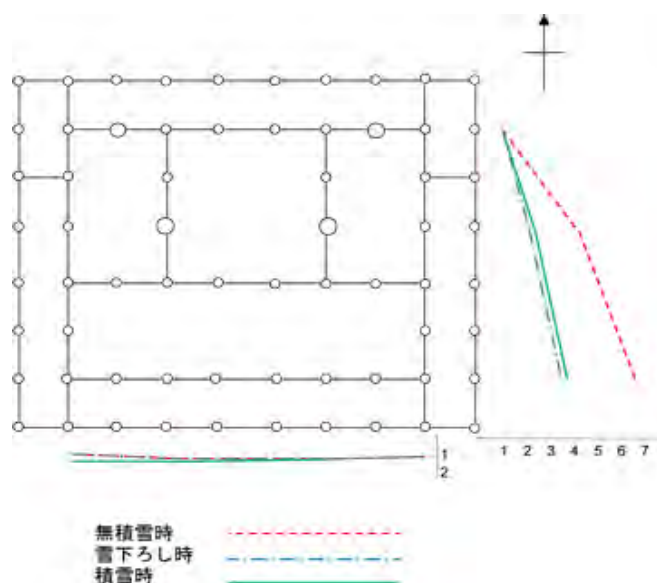


図 1 積雪による固有振動モードの変化

可能性があり、さらに、詳細な調査・検討が必要であり、今後の課題とする。この結果は、振動測定から、屋根積雪分布の推定の可能性を示すものである。今後も、慈恩寺本堂における地震モニタリングを継続し、この現象の物理的な解釈に向けた調査研究を進めていきたい。

5.地震環境と MEMS 加速度計による地震モニタリング

慈恩寺周辺の地震記録によれば、2011 年東日本大震災では震度5弱、1964 年新潟地震では震度5であり、本堂および三重塔がいままでに受けた最大級の地震動レベルは震度5と推定される。

高精度 MEMS 加速度計による地震モニタリングでは、震度 1 レベルの小地震の記録が 2019 年 8 月～2020 年 2 月の期間に 6 記録が得られた。2019 年 9 月 25 日 17 時 28 分頃に発生した地震(震源地-岩手県沖,M4.4,震源さ 42km 山形県寒河江市 震度 1)について本堂の東西方向、南北方向の基壇に対する各層の伝達関数を図 2 に示す。

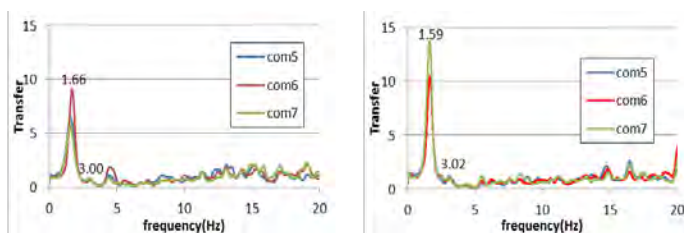


図 2 地震による梁上/基壇の伝達関数(左:東西 右:南北)

6.屋根積雪状況の調査

写真 2 に積雪時の微動測定を行った 2021 年 1 月 23 日の本堂の積雪状況を示す。三重塔屋根には積雪はない。写真 3 は本堂の雪下ろし直後の屋根積雪を示す(同年 2 月 6 日)。雪下ろしは、作業の安全性および屋根葺き材の保護のため積雪すべてを下すことはしない。写真 4 に羽黒山五重塔の屋根積雪状況を示す(同年 2 月 6 日)。五重屋根に積雪が集中していること、五重屋根からの落雪による偏分布がみられる。



写真 2 積雪時の常時微動測定実施日の本堂と三重塔(2021 年 1 月 23 日)



写真 3 雪下ろし直後の本堂
微動測定実施
(2021 年 2 月 6 日)



写真 4 羽黒山五重塔の
積雪状況(2021 年 2 月 6 日)

7. 振動解析による積雪荷重の評価

2019年12月～2020年2月の冬季は記録的な小雪のため、積雪時の振動測定ができず、積雪条件を仮定して、三重塔と本堂の振動解析を実施し、振動特性に対する積雪荷重の影響を検討した。三重塔は等価な3質点系せん断系モデル、本堂は立体骨組モデルを用いた(図3参照)。要旨では、本堂の検討結果を示す。

本堂の屋根積雪は図4に示すように2ケースを仮定した。

積雪荷重を算定したところ、積雪重量を加えた全体重量は建物重量のおおよそ2.1倍となった。表5に示すように、無積雪時について比較すると、固有振動数は実測値に対して解析値がやや小さな値を取っている。これは本解析モデルでは建具など非構造部材は考慮していないことな

どが主な要因であると考えられる。図5,6に示すように、Case1とCase2の振動モードを比較すると、積雪量が大きい場合(Case2)において北側の節点の応答に増大がみられる。また、図1に示したように固有振動モードに及ぼす積雪の影響と同様な傾向がみられる。

表5 固有振動数の測定値と解析値

	EW方向				NS方向			
	実測値 (無積雪時)	無積雪時	解析値		実測値 (無積雪時)	無積雪時	解析値	
			Case1	Case2			Case1	Case2
1次固有振動数(Hz)	1.73	1.37	0.95	0.94	1.75	1.57	1.16	1.14
2次固有振動数(Hz)	3.05	2.39	1.66	1.65	3.21	2.73	1.97	1.95
1次固有周期(s)	0.58	0.73	1.05	1.06	0.57	0.64	0.86	0.88
2次固有周期(s)	0.33	0.42	0.60	0.61	0.31	0.37	0.51	0.51

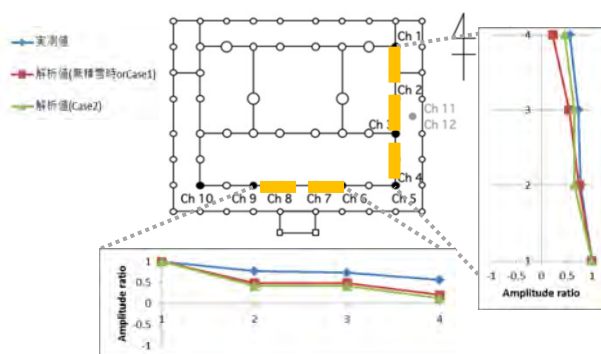


図5 EW方向1次固有振動モード

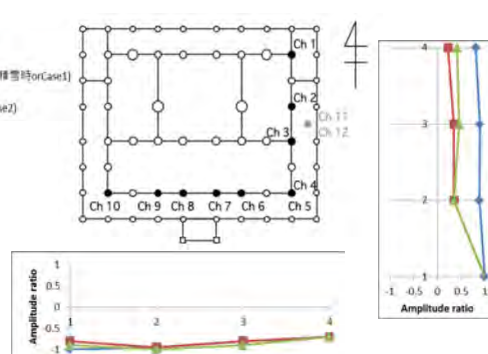


図6 NS方向1次固有振動振動モード

むすび

本研究は、研究代表者・花里利一(三重大大学)、共同研究者・三辻和弥(山形大学)、新津靖(東京電機大学)の研究体制で実施し、屋根積雪状況と積雪条件が固有振動特性に及ぼす影響に関する基本的な知見が得られた。一方、今後の課題も見出され、研究を継続する予定である。

本研究は平成30年度研究助成課題として平成31年(2019年)4月より研究助成を受けて実施した。2020年冬季(2019年12月～2020年2月)は記録的な小雪のため、積雪期の振動調査ができず、さらに、2020年3月以降、新型コロナウイルス感染拡大により調査が困難になった影響を受け、研究期間を延長して実施した。研究期間の延長を許可いただいた財団に感謝いたします。

● 研究目的

- 近代の木造建築の壁構法として用いられた「木摺漆喰壁」は、建築基準法施行令において、下地（木摺と釘）による耐力が壁倍率として定義されているが、最大0.5倍と小さい値にとどまっている。既往の実験から、漆喰を塗布することで剛性、耐力が向上することが示唆されているが、それを定量的に示す方法は確立していない。2016年には松本（博士論文他）で、真壁型の木摺壁の評価方法、一連の要素実験の方法が提案されているが、漆喰の塗り厚や、木摺と漆喰の強度の負担率の違いについては不明な点が多い。
- 本研究では、①養生期間・調合の違いによる漆喰強度の変化、②木摺と漆喰の強度の負担率、③漆喰の塗り厚による強度の変化、を明らかにすることを目的として、体系的な材料試験および小試験体によるせん断試験を実施した。

● 実施内容と結果

- ①調合・養生期間の違いによる漆喰強度の変化に関する実験
 - ✧ 異なる調合、養生期間を持つ漆喰材料試験体の強度試験を実施した。なお、試験体の製作は本助成以前であるが、本助成期間内に実験を実施し、論文の投稿を行った。試験実施時の計測用ゲージ購入等に予算を支出した。
 - ✧ 試験体と結果の概要
 - 本実験では、2015年度に作成、保管していた、調合・養生期間の異なる漆喰材料試験体を対象として、圧縮試験、せん断試験、曲げ試験をそれぞれ実施し、調合における砂、スサの含有量と強度の相関、また各応力種類の相関性を明らかにした。伝統的漆喰材料自体に関する既往の研究自体がほとんど存在しないなか、強度、ヤング率などの強度特性値を（特定の材料調合・養生条件のみであるが）示した点でも有用な結果が得られた。
 - ✧ 主な公表成果：
 - 木摺漆喰壁に用いられる漆喰材料の強度特性評価 圧縮・曲げ・せん断性能の材料試験, 松本直之, 藤田香織, 日本建築学会技術報告集, 29巻73号, pp1180-1185, 2023.10 (添付)
- ②・③木摺と漆喰の負担率、漆喰の塗り厚による強度変化に関する実験

- ◇ 真壁型木摺漆喰のせん断抵抗機構は、過去の実験（松本，2016 他）から、以下の 7 つの要素に大別できると考えられる。
 - ①木摺下地と釘のせん断抵抗
 - ②漆喰層（主に中塗り層）の圧縮ストラット
 - ③木摺空きの縮みによる漆喰の圧縮抵抗（偏心のため）
 - ④木摺空きの漆喰と木摺のせん断・摩擦抵抗
 - ⑤木摺下地表面と漆喰の付着抵抗
 - ⑥漆喰層自体の曲げ・せん断抵抗
 - ⑦木摺空き漆喰と漆喰層とのせん断抵抗
- ◇ これらの要素を独立して取り出し、評価法を整理してゆくことで、衣摺漆喰壁の耐力要素としての算定が定量的に可能となる。
- ◇ 本実験では、主に漆喰の塗り厚と拘束条件を変化させた以下の 4 シリーズの試験体を作成し、せん断試験結果の分析からそれぞれが弾性剛性、降伏耐力、最大耐力に与える影響を抽出した。
- ◇ 各要素の独立した材料試験からの算定方法に関しては、別途実施した材料試験結果に基づいて算定した結果をまとめる予定である。
- ◇ 試験体は正方形、真々910 mmの木製ピンプレームの中に真壁型で木摺壁を施工するものとした。今回はプロポーシヨンによる変化は考慮せず、正方形形状で応力負担の傾向を確認することを主たる目的とする。
 - 試験体シリーズは以下の 4 種類とした。寸法・仕様を図 1・2 に示す。
 - 木摺下地のみの試験体（SH シリーズ）1 体
 - 木摺下地＋下塗り漆喰（SHB シリーズ）2 体
 - 木摺下地＋下塗り漆喰＋中塗り漆喰（SHBM シリーズ）2 体
 - 木摺下地＋下塗り漆喰＋中塗り漆喰 [四周縁部分は塗らない]
[SHBME シリーズ] 2 体
- ◇ 本実験②・③については、実験実施後の速報的報告となる。今後、投稿論文として成果の公表予定である。

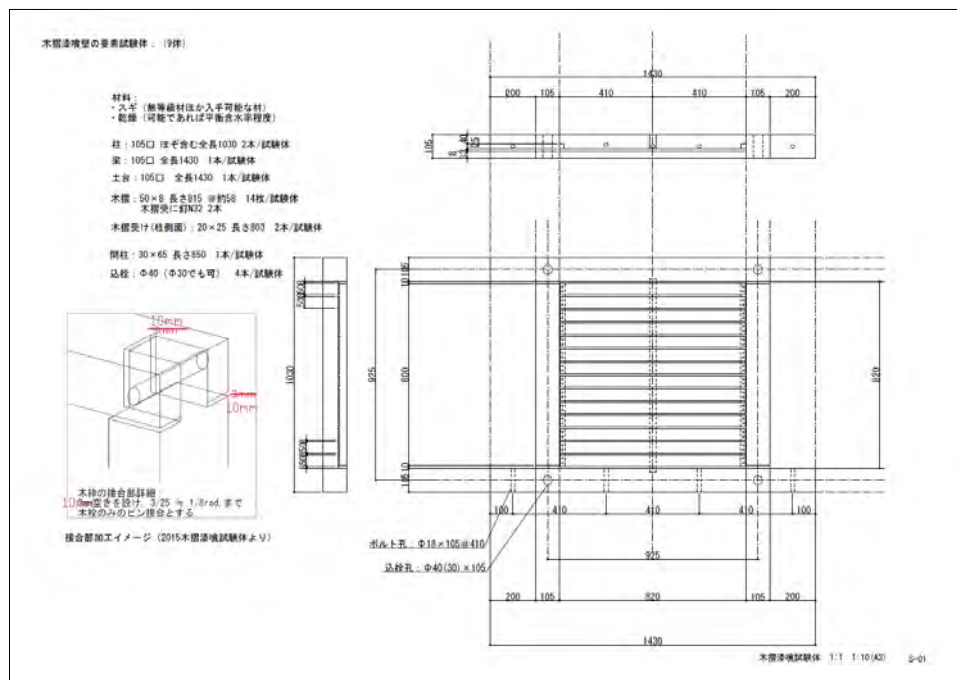
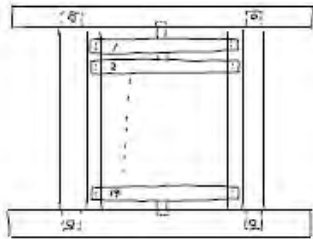


図1：木器塗装壁要素試験体 計画図

2025年度木摺漆喰試験体：左官仕上り仕様

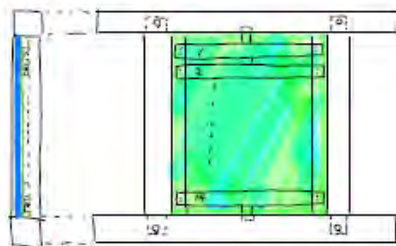
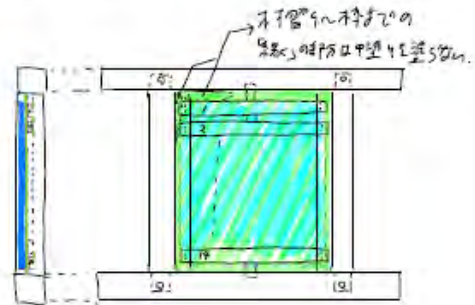
2025.7.1 板本通之

1) 仕上がり前の試験体



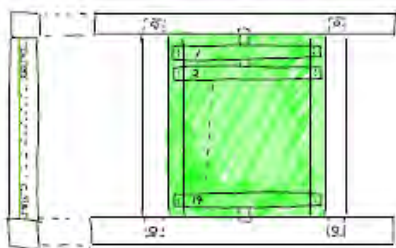
2) 左官仕上りのパターン [※下塗り等はなしとする]

①～③各3体の想定



① 下塗り：全面 (厚2～4mm (下塗り2mm + 中塗り1mm + 上塗り1mm))
3体 中塗り：全面 (厚10mm (中塗り4～3mm + 上塗り3mm 計10mm))

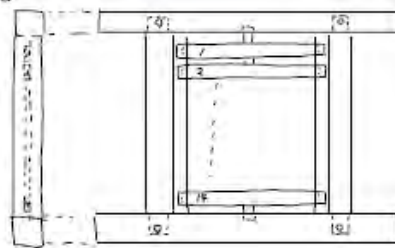
② 下塗り：全面 (厚：①と同じ)
3体 中塗り：木摺上のみ (厚：①と同じ)



③ 下塗り：全面 (厚：①と同じ)

3体 中塗り：なし

※



④ 左官仕上りなし

1体

(参考)

・下塗りの調合：生漆喰のみ (消石灰20kg : 79合めせ32.6L : 水10L) ※ 79合めせ = 7/293kg
・中塗りの調合：生漆喰：118少 (32.6L不明) = 1:1 ※ 79合めせ = 7/293kg

図2：木摺漆喰壁実験 左官仕上り仕様図

- 漆喰塗りの実施施工仕様

- 漆喰の施工 概要

本実験では、東京都内の左官職人（あじま左官工芸社）2名に漆喰試験体の製作および施工を依頼した。試験体の塗り厚さ（下塗り 2mm，中塗り 10mm）に関しては、松本の過去に実施した類似の仕様の実験（松本，2016）を参照し決定した。

漆喰塗りの仕様と調合は、下塗り（生漆喰）2mm と中塗り（砂漆喰）10mm の計 12mm 厚とした。消石灰、ツノマタ（粉）、スサ（マニラ麻）を混合した生漆喰を基準とし、それに砂を混合したものを中塗りとして用いた。下塗りの乾燥期間は 1 週間程度とし、中塗り（仕上げ塗り）から試験実施までの期間は 21～28 日間である。

- 材料

- ◇ 以下の材料（市販品）を用いる
 - ◇ 消石灰 20kg
 - ◇ スサ
 - ◇ ツノマタ粉
 - ◇ 川砂（ふるいなし）
 - ◇ 水道水

- 施工の手順

- ◇ 漆喰材料の製作
 - ◇ 下塗り（生漆喰）
 - 練り樽に消石灰を 1 袋加える。
 - ツノマタ粉をワシコ 2 杯分加え、水を加えて混ぜる。
 - スサを数回に分けて加える。その都度、水を加えて混ぜる。
 - タルからバケツ 3 杯に移す。水を少量（約 500ml）加えつつ、再度混ぜる。



図3：生漆喰の製作

- ◇ 中塗り（砂漆喰）

- ① 下塗り同様の調合で生漆喰を制作する。
 - ② 川砂 1 袋を入れ、水を加えて混ぜる。

- ③ ②を3回繰り返す。



図4：中塗り漆喰の製作

■下塗りの施工

- ① 試験体の枠に、塗り厚に合わせてテープを張り塗り厚の目安をつくる。
- ② フチなしの試験体は外周 18mm にテープで養生する。
- ③ 鏝を縦に動かし施工する。

■中塗りの施工

- ① 試験体の枠に、塗り厚に合わせてテープを張り塗り厚の目安をつくる。
- ② フチなしの試験体は定規を四周に設置してから施工する。
- ③ 鏝により2回に分けて施工する。
- ④ 霧吹きと木鏝（表面の斑を修正する）と角鏝（表面を平滑にする）によって仕上げる。

今回は中塗りで終了とするため、刷毛引きなど、以降の層の定着を向上させるための作業は省略した。また、層間の剥離を防ぐための下げ苧（ヒゲトンボ）は漆喰部分の層構成・抵抗機構を簡明にするため省略した。

● その他の施工に関する聞き取り内容

- ・ ツノマタも川砂もふるいなし。
- ・ ワンコ 1杯約 380ml →1個と数える。

ツノマタ 1杯 340g

気候により分量が異なる。(夏3杯、冬2杯など)

→今回は2個

- ・ 漆喰の施工の際は、縦に鏝を動かす。

裏に引っ掛かりを出すため。

スサが縦に引っ掛かるようなイメージ。

- ・ フチなしの逃げはテープ1枚分とした。
- ・ 下塗りのあと、すぐに「なめす」
- ・ 通常は下塗りのあとに砂漆喰を薄く塗り、刷毛を引いておく。(なめす)

→中塗りの剥がれを防止するため。今回は実施していない。

● 実験の加力・計測計画

➤ 加力計画

・正負交番繰り返し加力（油圧式ジャッキ、変位制御）

・加力サイクル(rad.)：見かけのせん断変形角で

1/600,1/450,1/300,1/200,1/150,1/120,1/100,

1/75,1/60,1/50,1/30,1/20,1/15,1/10(1/10 は引き側のみ)

・正負各2回

・最大荷重記録後荷重が80%に低下した場合、そこで計測を終了する。

破壊に至らない場合、1/10rad.まで加力を行う。

・加力速度は、1 インターバル[1 秒]辺り 0.3mm 程度を想定。

➤ 計測計画

・CH0 荷重 [ロードセル：定格 200kN]

・CH1,2 頂部水平変位 [表・裏] SDP-200

・CH3,4 土台水平移動 [表・裏] CDP-50

・CH5-8 柱頭柱脚引き抜き CDP-50

・CH9,10 土台浮き上がり CDP-50

・CH20-94 漆喰仕上げ上の応力分布 [25 分割した各領域で
三軸ひずみゲージを用いて主応力の分布を測定する]

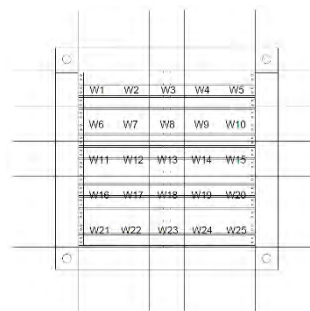


図5：ひずみゲージ貼付用壁体分割図

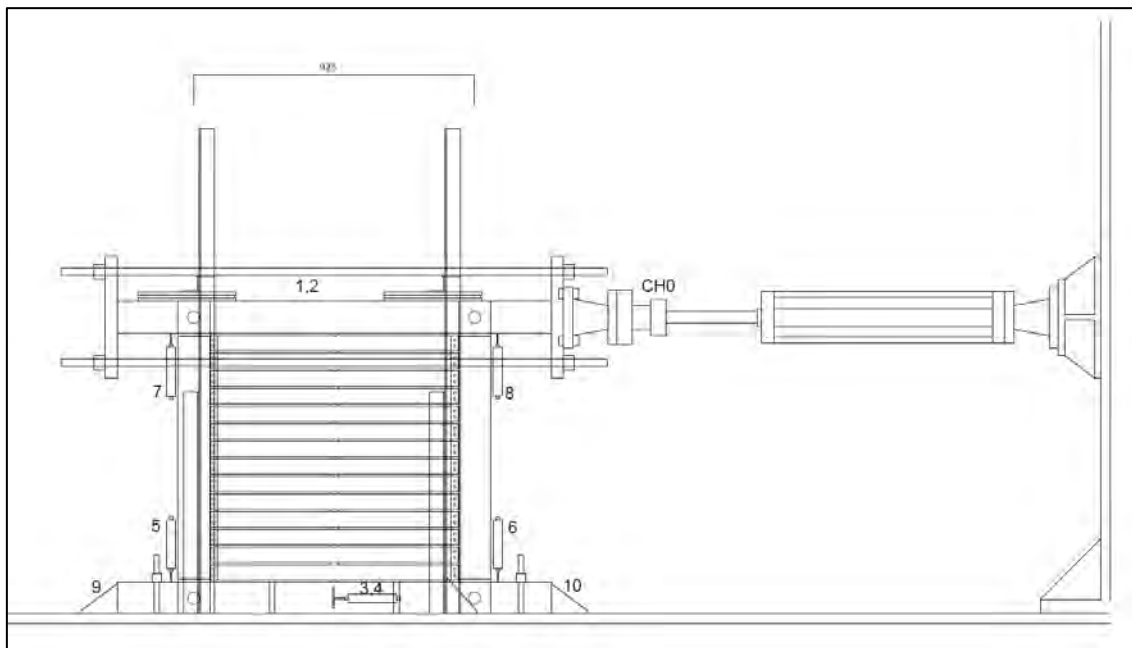
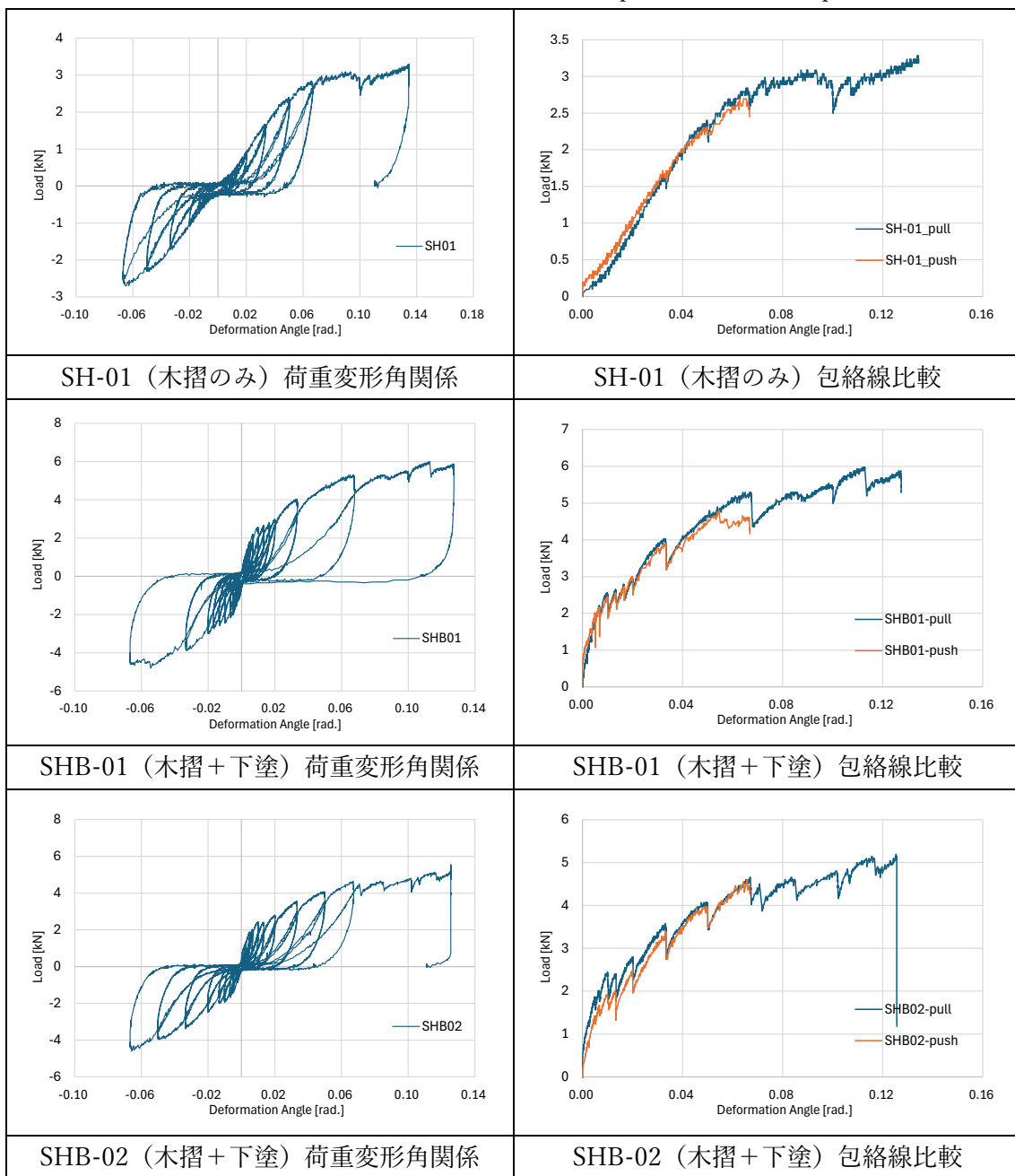
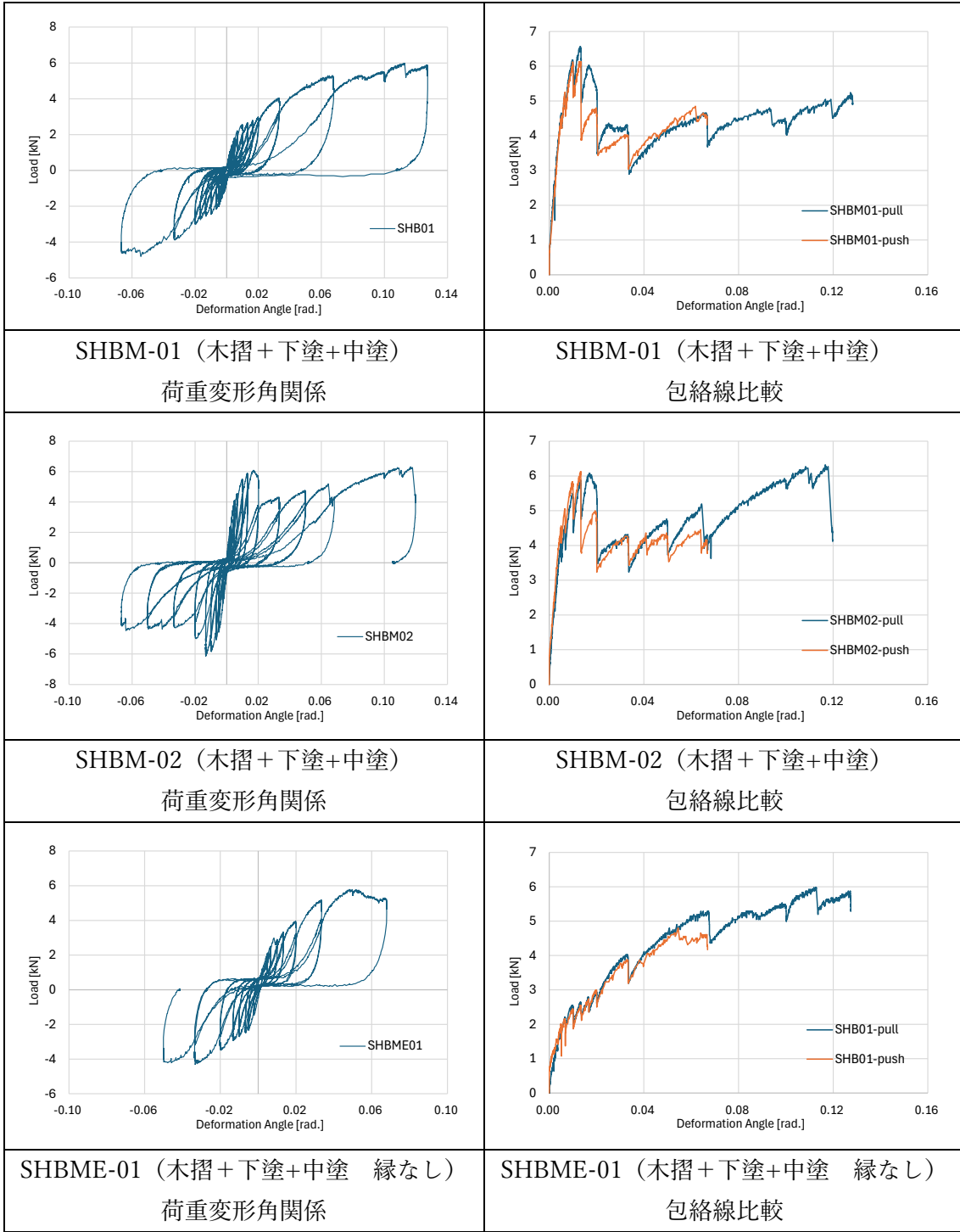


図6：計測計画（図中番号はCH番号）

● 実験結果

➤ 荷重－変形角関係：復元力特性と包絡線 [pull:正面右方向, push:正面左方向]





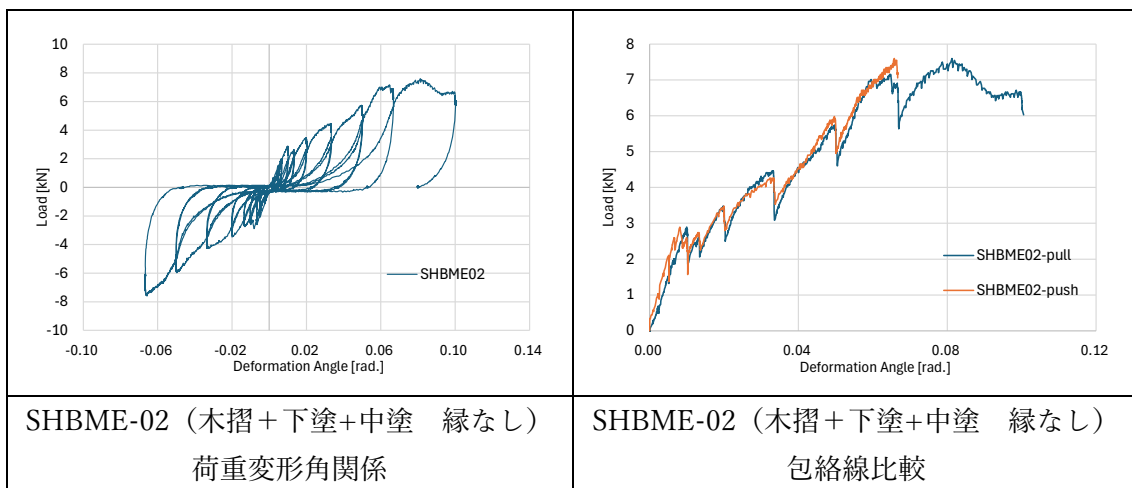
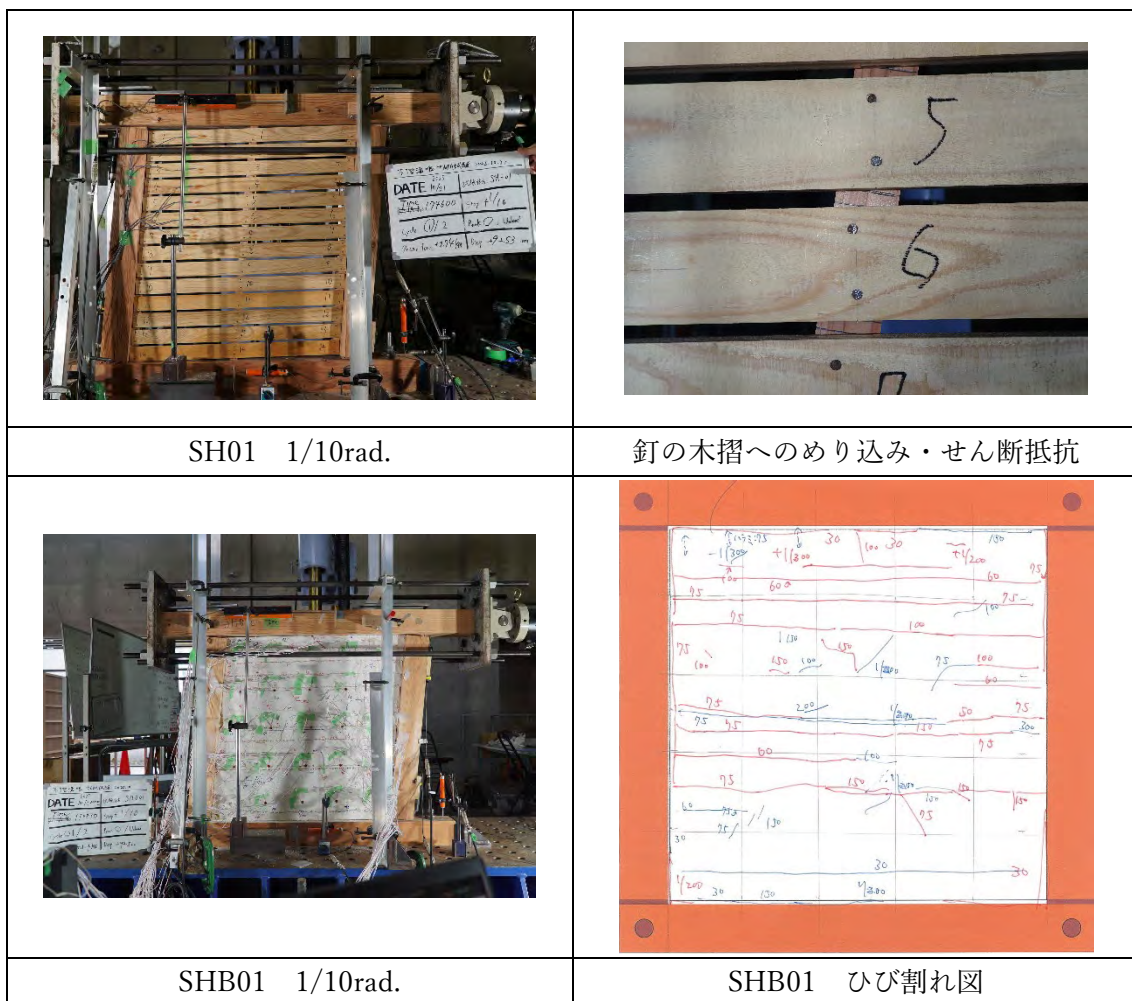
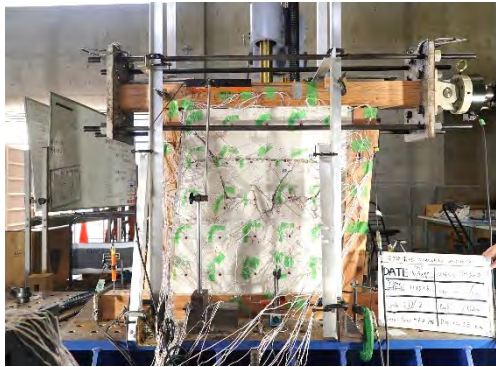


図7：各試験体の荷重－変形角図および包絡線

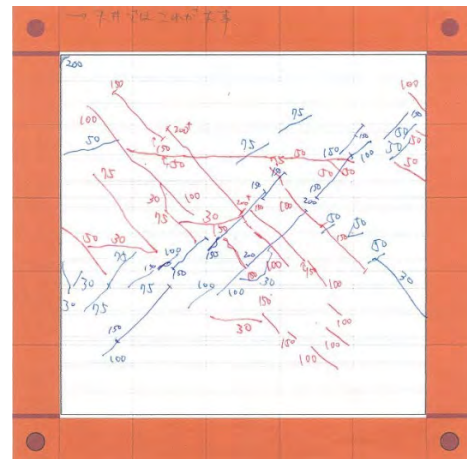
実施した各試験体で正負の差は小さい。明確に荷重や剛性が低下している場合は、破壊を生じたサイクルにおいて (SHBM01,02, SHBME01) であった。

◇終局状態

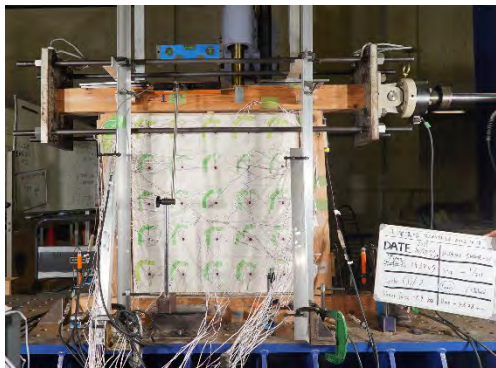




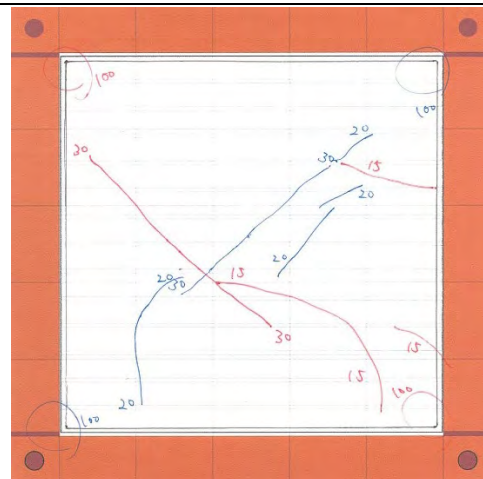
SHBM01 1/10rad.



SHBM01 ひび割れ図



SHBME01 -1/20rad.



SHBME01 ひび割れ図

上図に示すように、漆喰表面に生じる亀裂は、各仕様で異なる傾向を示した。下塗りの漆喰（SHB）では、主に木摺に沿って亀裂が生じた。中塗り縁あり（SHBM）では、対角方向に亀裂が生じ、荷重の低下に至った。中塗り縁なし（SHBME）では、大変形まで亀裂は生じなかった。

次に、各シリーズの包絡線を比較する。引き切り加力を行った側（＝ジャッキ引き側：pull）のデータで比較した。

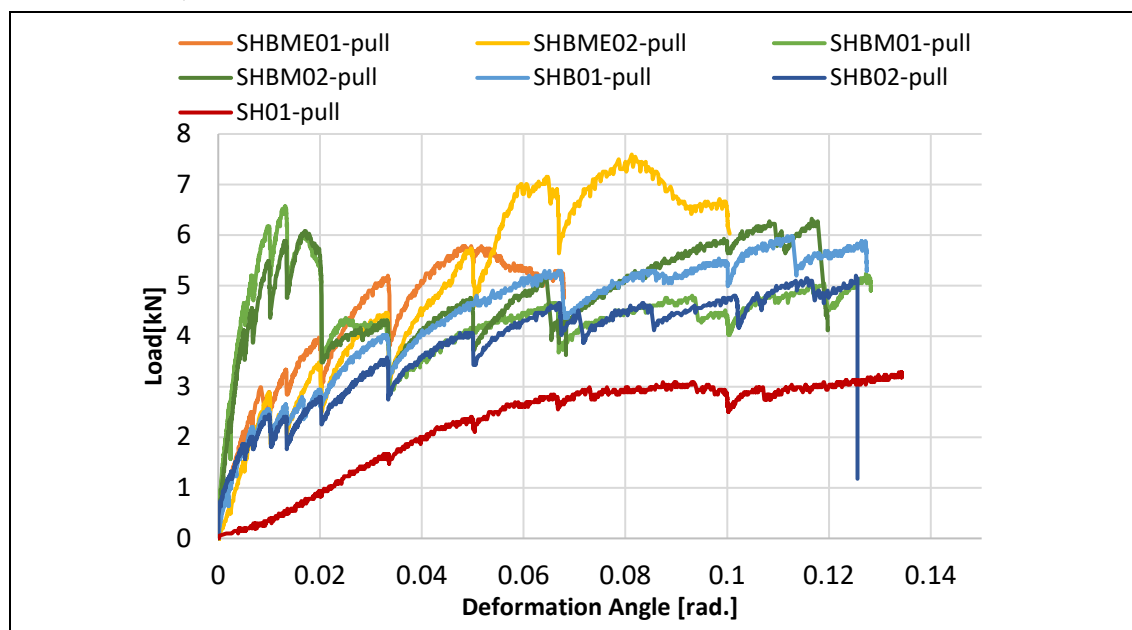


図 8：各試験体 正（引）方向の包絡線の比較

◇初期剛性の比較

- ・SH（木摺のみ）と比較して、漆喰を塗布した SHB, SHBME, SHBM の各試験体は高い初期剛性を発揮した

- ・SHB と SHBME の初期剛性は近い。すなわち、木摺の空きに下塗り漆喰が塗布されたことによる影響が顕著であったと推定される。SHBME は中塗りまで塗布しているが、四周の縁を塗っていないため、木摺と接触している個所は下塗りのみの SHB とほぼ同様となっている。

- ・SHBM（下塗り・中塗りを縁まで塗ったもの）は最も初期剛性が高い。SHB, SHBME との主な違いは、四周を塗っていることによって漆喰の中塗り層による圧縮ストラットが形成されていることによると推定される（※ストラットの形成幅、ストラットでの発生応力については、ひずみゲージの計測値から推定予定であるが、本報告では省略する）。このほか、四周部での漆喰と枠材の摩擦力も違いの要因となりうる。

◇降伏耐力・最大耐力

- ・SH（木摺のみ）では 0.04 rad. (1/25 rad.) 以降まで剛性は明確に低下しない。釘の曲げ降伏に伴い、緩やかに剛性は低下するが、0.1 rad.を超える大変形まで荷重は低下しなかった。最大荷重は計測の最大変形時点であるが、概ね 1/10rad.で剛性はほぼ 0 となり、最大に達した。

・SHB, SHBME は近い初期剛性を持ち、 $1/200 \sim 1/150 \text{rad.}$ で降伏した。SH は降伏変形付近で木摺に沿った水平亀裂や一部体格方向の亀裂を生じ、降伏以降は剛性は木摺のみのSHとほぼ同等となった。SHBME は漆喰面に亀裂が発生せず、降伏後も他のシリーズより高い剛性が生じた。ともに、 $1/15 \text{rad.}$ を超える大変形領域では荷重がより増加する傾向もあった。

・SHBM は $1/200 \text{rad.}$ ～やや剛性が低下、約 $1/100 \text{rad.} \sim 1/75 \text{rad.}$ 時に最大荷重に達し、漆喰層に対角方向に亀裂を生じて約6割まで荷重が低下した。その荷重は明確には低下せず、SHB, SH シリーズと類似の挙動となり、 $1/15 \text{rad.}$ 以降はやや増加した。

● 考察とまとめ

◇シリーズの差分から見る漆喰層の負担耐力

上記の各シリーズの引側の包絡線の平均曲線を算出し、差分をとることで、漆喰の各層の負担するせん断力について考察した。

図9は、下塗りのみを行った試験体と、木摺下地のみの試験体の比較と差分を示す。ここから、下塗り漆喰の塗布によって、初期剛性は約6倍 ($50 \text{kN/rad.} \rightarrow 300 \text{kN/rad.}$ *概算) となること、下塗り漆喰は、約 $1/100 \text{rad.}$ にて約2kNに達したのちはおおむね一定の荷重を保ち、完全弾塑性に近い挙動を示したと推測される。一定程度の荷重を保っていることから、木摺と木摺間の漆喰の摩擦による挙動などと推測される。

図10は、中塗りを行った試験体（縁あり）と下塗りまでの漆喰のそれぞれの平均曲線の比較と差分を示す。下塗りと中塗りの主な違いは、 $1/100 \text{rad.} \sim 1/75 \text{rad.}$ での中塗りの対角方向の亀裂を伴う破壊までが主であり、その後はほぼ差はないことが示された。この差分は、10mmの厚さで塗り上げた中塗りの層が対角方向に圧縮されるストラット効果などが主な原因であると考えられる。

図11には、ともに中塗りまで塗った試験体で、他方は四周の縁を約18mm塗り残した状態としたものである。すなわち、一方では中塗り漆喰層の四周が拘束されず、ストラット効果が作用しない。ここでの負担せん断力は、図10の負担せん断力とほぼ同等となっていることから（図12）、縁を塗らない場合には、（降伏までは）概ね下塗りと同等のせん断力負担程度にとどまることがわかる。ただし、図8からもわかる通り、中塗り縁なし（SHBME）試験体は、通常の下塗りと類似した初期の降伏ののちも、荷重が増加を続ける点に違いがみられる。下塗り漆喰は降伏時に薄い漆喰の表面に亀裂が生じ、漆喰の空きと空きの間での応力伝達が行われなくなるのと比較して、中塗り縁なし試験体では、ほぼ終局時まで漆喰層表面には亀裂が生じない。そのため、木摺間の漆喰の圧縮などの効果が生じやすいことなどが原因と推定される。

図13に、以上より抽出した、各層の負担せん断力（平均値）を示した。一般的に脆性的な破壊を生じるとされる木摺漆喰壁であるが、下塗り漆喰（2mmと木摺空き）、中塗り漆喰（10mm）の、異なる負担せん断力の傾向の層を有していることが明らかにされた。これらの内訳は、本報告書冒頭に示した①～⑦の抵抗要素の組み合わせとして生じているものと

推測される。例えば、中塗り層の負担分は、中塗り縁なしとの比較からも、概ねストラットの影響によるものと推測される。

中塗り漆喰、下塗り漆喰の挙動の違いについては、別途本実験時に採取した材料試験を実施中である。やや異なる仕様であるが、一般的な傾向については、別掲の松本の技術報告集〔2023〕を参照されたい。

以上が現時点での報告となる。本研究シリーズで計測したデータとして、他にひずみゲージによる漆喰層の応力分布、漆喰の圧縮強度、木摺ー釘せん断耐力などの各材料試験値があり、今後、これらのデータを活用し上記の各層でのせん断力発現機構を定量的に明らかにしてゆく予定である。

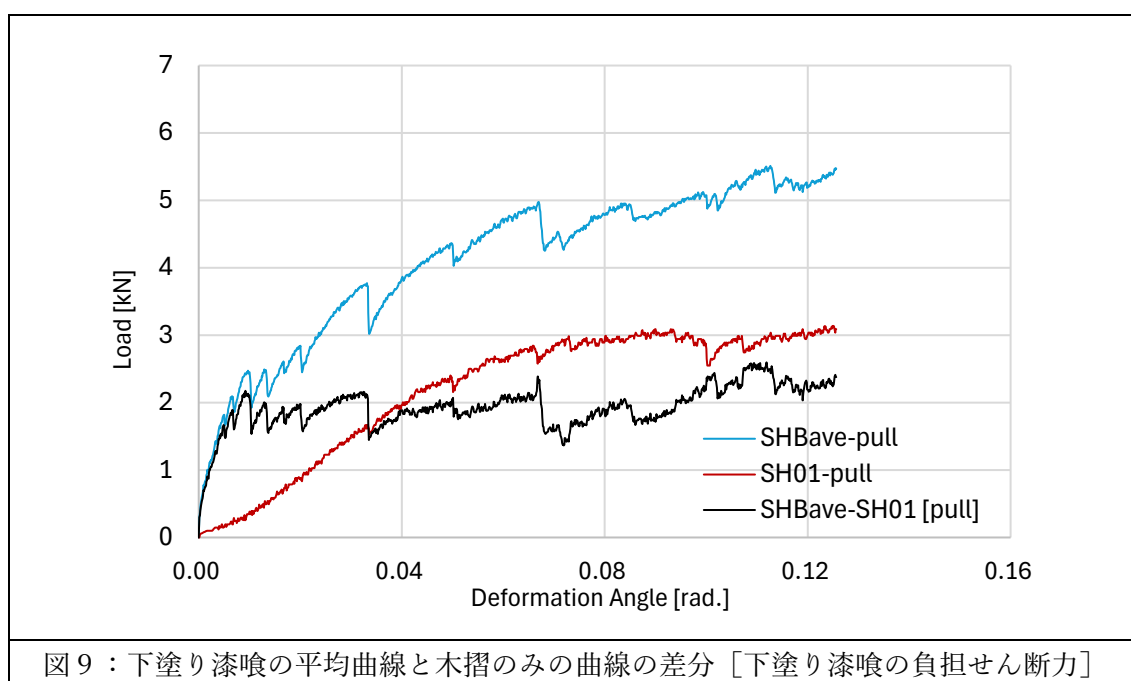


図 9：下塗り漆喰の平均曲線と木摺のみの曲線の差分〔下塗り漆喰の負担せん断力〕

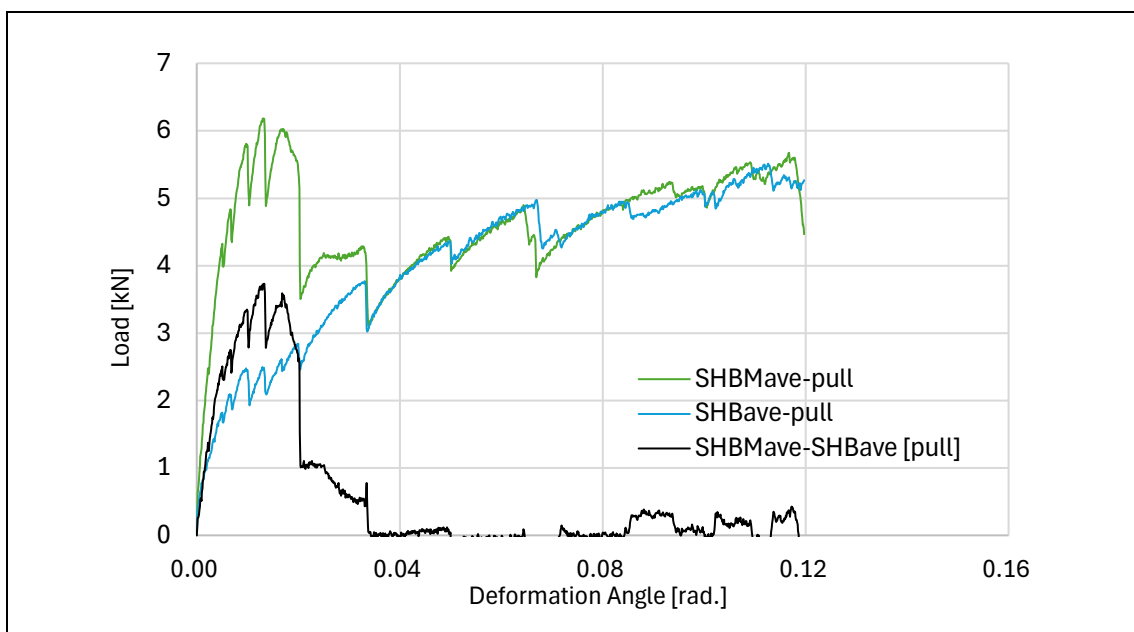


図 10：中塗り漆喰の平均曲線と下塗り漆喰の曲線の差分 [中塗り漆喰の負担せん断力]



図 11：中塗り漆喰の平均曲線と中塗り漆喰 [縁なし] の曲線の差分
[中塗り漆喰の「縁部分があることによる」負担せん断力]

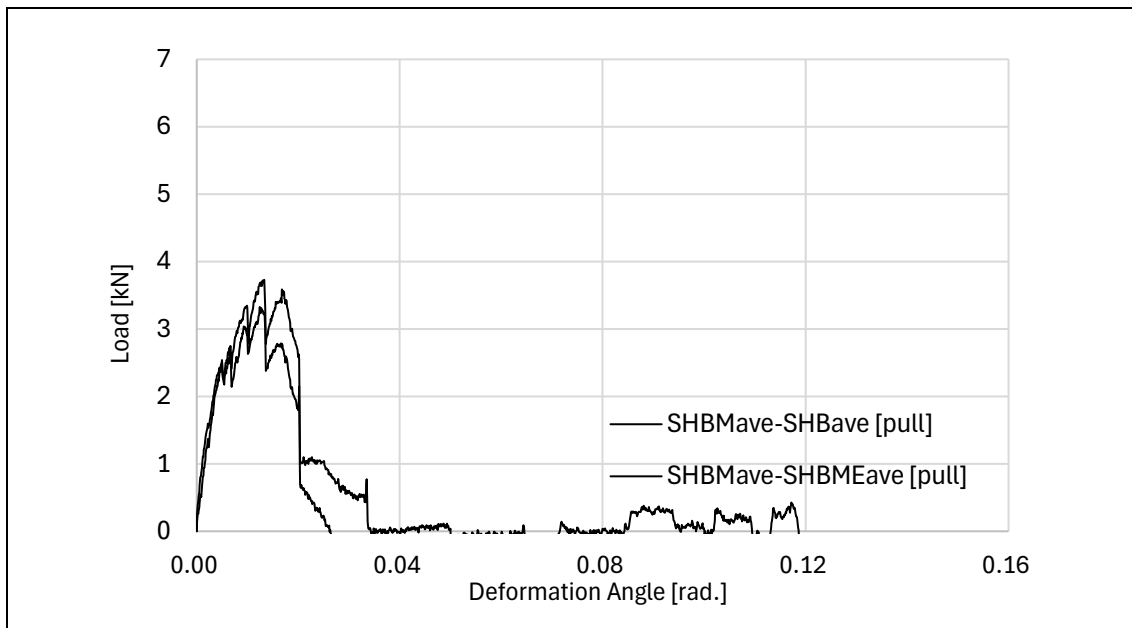


図 12：図 10, 11 から漆喰層の負担せん断力を比較
[中塗りと中塗り縁なしの差は，中塗りと下塗りの差と近い]

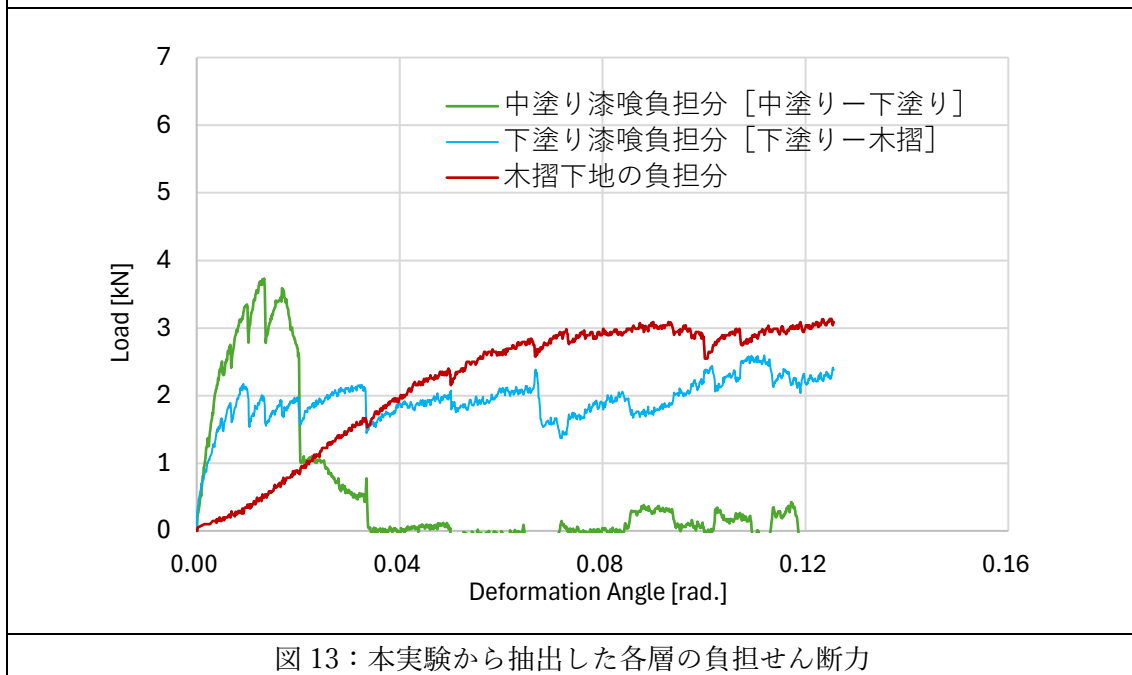


図 13：本実験から抽出した各層の負担せん断力

● 今後の課題

◇さらに，木摺漆喰壁の設計法確立に向けては，以下のような発展的な分析が必要である。

- ・①～⑦の抵抗要素それぞれの算定式の提案
- ・材料強度，試験体プロポーションなどの壁せん断抵抗に与える要素の解明
- ・以上より，各抵抗要素から各層の負担せん断力の発現機構を明らかにし，材料試験等による強度の再現，設計可能性を提示する

- ・大壁の仕様における壁の連続性の検討
- ・天井との連動など，実建物における左官仕上げ部分同士の立体的な連動，挙動の評価

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

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、米軍海軍横須賀基地に残っていた昭和 10 年竣工の旧横須賀鎮守府倉庫について、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. 旧横須賀鎮守府倉庫の建物概要

対象建物は、在日米海軍司令部庁舎として使用されている旧横須賀鎮守府庁舎の 2 棟後ろに建ち、解体が始まる 2018 年 5 月まで倉庫として使用されていた（写真 1）。この一帯は関東大震災によって大破した鎮守府庁舎の建て替えに伴い、関連施設が整備され場所であった。

建物に関する史料は残っていないが、建築年は米軍基地保有情報によれば昭和 10 年とのことであった。建物は梁間 9.48m、桁行 24.05 m の長方形平面で、高さ 9m の鉄骨鉄筋コンクリート造二階建てである。



写真 1 解体調査

3. 調査概要

3.1 調査試料

解体業者協力のもと、切り出された組立 H 形断面梁 4 体（No. 1～No. 4）と組立箱形断面柱 5 体（No. 5～No. 9）をご提供いただいた。本研究ではそのうちの各 2 体を試験に使用した。

3.2 引張試験

3.1.1 試験方法

まず、素材引張試験を行い、強度特性を確認した。写真 2 のとおり、柱からは、芯材となるアングルとつなぎ材のプレートから引張試験片を各 3 本採取した。梁からは、フランジ部分のアングルおよびウェブ部分のプレートから各 3 本の引張試験片を採取した。試験片の形状は JIS Z 2241「金属材料引張試験方法」の 5 号試験片とした。採取した試験片記号を表 1 にまとめて示した。

試験片は解体時に生じた変形が残った状態であったが、引張試験には支障が生じなかったため、プレス加工は行わずに試験に供した。なお、BF-1 試験片については、片面に塗装が残っていたため、それをベルダーで除去した後に、引張試験を行った。



写真 2 試験片の採取位置

表 1 採取した引張試験片と試験片記号の一覧

試験対象	試験部位	鋼種	数量	試験片記号
組立箱形断面柱	芯材	アングル	3	CL-1, 2 : C21-No. 7から採取
				CL-3 : C21-No. 6から採取
	つなぎ材	プレート	3	CP-1 : C21-No. 7から採取
				CP-2, 3 : C21-No. 6から採取
組立箱形断面梁	フランジ	アングル	3	BF-1, 2 : C21-No. 1から採取
				BF-3 : C21-No. 4から採取
	ウェブ	プレート	3	BW-1, 2 : C21-No. 1から採取
				BW-3 : C21-No. 4から採取

3.1.2 試験結果

試験結果の一覧を表2に示す。試験で得られた応力-伸び歪関係を図1・図2に示す。

梁ウェブプレートはBW-1、BW-2を除き、いずれの試験片も異なる構成材（アングルおよびプレート）から試験片を採取している。引張試験の結果を見ると、梁ウェブプレートでの3本は、ほぼ同じ応力-伸び歪曲線が得られているのに対して、柱芯材や梁フランジ材のアングルでは、3本の間で顕著な差が認められる。異なる強度クラスの鋼材が使われていたかは不明で、化学成分分析やミクロ組織観察の結果を見て判断することになるが、解体時や共用時に受けた損傷（塑性化）による歪硬化の度合いで、強度の上昇と伸びの減少が生じ、顕著な差が現れたことも考えられる。柱芯材や梁フランジは、その軸方向力によって鉛直荷重や曲げモーメントに抵抗する。このことから、柱つなぎ材や梁ウェブのプレートと比べて、柱芯材や梁フランジのアングルでは、強度特性の変化が大きく生じたと考えられる。

各組立材の強度差が塑性変形によって生じたものとすれば、元の鋼材の強度クラスは3本の試験結果の最も低い強度のものに近いと思われる。このように考えれば、今回、調査したアングルとプレートについては、引張強度が400N/mm²前後の鋼材であったと思われる。建設当時（大正15年）の規格である日本標準規格第20号G9「構造（橋梁、建築其ノ他）用圧延鋼材」¹⁾では、引張強さ39～47kgf/mm²（382～461N/mm²）と規定されており、この時代に建設された建造物の調査事例²⁾と比較してもほぼ同等の材料と推定される。

表2 引張試験結果一覧

鋼種	試験片記号	平行部厚 (mm)	平行部幅 (mm)	上降伏点 (N/mm ²)	下降伏点 (N/mm ²)	0.2%オフセット耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	破断伸び (%)	破断位置
組立箱形断面柱芯材アングル	CL-1	9.7	25.0	338	336	337	621	21	A破断
	CL-2	9.4	25.1	261	257	260	457	34	A破断
	CL-3	9.9	25.0	—	—	280	508	31	A破断
組立箱形断面柱つなぎ材プレート	CP-1	9.8	25.0	238	237	234	369	48	A破断
	CP-2	9.5	25.0	—	—	237	415	41	A破断
	CP-3	9.6	25.0	233	230	226	386	42	A破断
組立H形断面梁フランジアングル	BF-1	9.5	25.0	241	230	236	385	48	A破断
	BF-2	9.4	25.0	277	270	270	469	36	A破断
	BF-3	9.9	25.0	319	310	314	538	32	A破断
組立H形断面梁ウェブプレート	BW-1	10.0	25.0	310	293	304	447	41	A破断
	BW-2	10.1	25.1	321	285	295	446	39	A破断
	BW-3	9.7	25.0	259	256	256	442	39	A破断

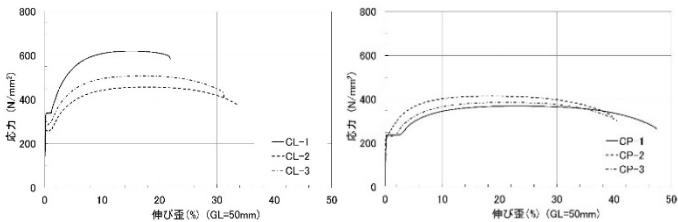


図1 柱 芯材アングルおよびつなぎ材プレート 応力-伸び歪関係図

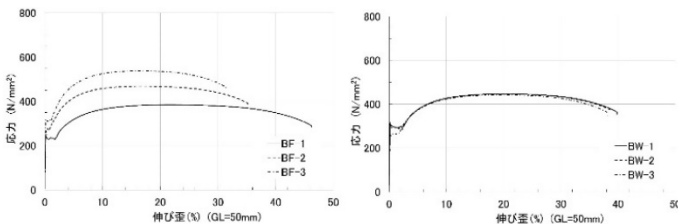


図2 梁のフランジアングルおよびウェブプレート 応力-伸び歪関係図

3.2 成分分析

3.2.1 分析方法

次に、各鋼材の化学成分を分析した。

- ・C, S : 赤外線吸収法
 - ・Si, Mn, P, Cu, Ni, Cr, Mo, V, B : ICP 発光分光法
- 分析試料は、下記の材と、結合部の丸鋸とした。

- ・No.1 組立H型断面梁
等辺山形鋼（フランジアングル）BF-1, BF-2
平鋼（ウェブプレート）BW-1
丸鋸（リベット）No.1
- ・No.4 組立H型断面梁
等辺山形鋼（フランジアングル）BF-3
- ・No.7 組立箱型断面柱
等辺山形鋼（芯材アングル）CL-1, CL-2
平鋼（繫材プレート）CP-1
丸鋸（リベット）No.7

3.2.2 組立H型断面梁・等辺山形鋼

組立H型断面梁の等辺山形鋼（フランジアングル）BFの成分分析結果を表3に示す。組立H型断面梁の等辺山形鋼は、引張試験結果で3種類の鋼材でS-S曲線が異なる挙動を示していたが、表3の分析結果でも試料間で各元素の分析値が異なり、異なる鋼材であると推定された。またBF-3についてはSi量、Mn量、P量がBF-1とBF-2より高い傾向が確認された。

表3 組立H型断面梁・等辺山形鋼の成分分析結果(mass%)

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	B
BF-1	0.15	0.01	0.58	0.016	0.019	0.05	0.02	0.01	<0.01	<0.003	<0.0001
BF-2	0.31	0.01	0.55	0.015	0.038	0.16	0.03	0.01	<0.01	<0.003	<0.0001
BF-3	0.26	0.18	0.82	0.087	0.033	0.10	0.04	0.03	<0.01	<0.003	<0.0001

3.2.3 平鋼

平鋼であるウェブプレートBWと繫材プレートCPについては、引張試験結果のS-S曲線の挙動が各鋼材間で挙動が類似していた為、成分分析は表4に示した様にBW-1とCP-1について分析を行った。

表4 平鋼の成分分析結果(mass%)

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	B
BW-1	0.24	0.01	0.46	0.013	0.034	0.07	0.02	0.02	<0.01	<0.003	<0.0001
CP-1	0.14	0.01	0.38	0.009	0.024	0.06	0.02	<0.01	<0.01	<0.003	<0.0001

3.2.4 組立箱型断面柱・等辺山形鋼

組立箱型断面柱の等辺山形鋼（芯材アングル）CLは、引張試験結果のS-S曲線にてCL-2（No.7）とCL-3（No.6）が類似し、CL-1（No.7）のみ異なる傾向が確認された為、CL-1とCL-2について成分分析を行った。分析結果を示した表5より、CL-1はCL-2より炭素量が高く、P量もCL-1がCL-2より高い傾向が確認された。

表5 組立箱型断面柱・等辺山形鋼の成分分析結果(mass%)

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	B
CL-1	0.43	0.20	0.62	0.102	0.028	0.09	0.04	0.03	<0.01	<0.003	<0.0001
CL-2	0.20	0.11	0.67	0.027	0.050	0.17	0.04	0.02	<0.01	<0.003	<0.0001

3.2.5 丸鋸

梁と柱の部材締結に使用されている2種類の丸鋸（リベット）について分析した結果を表6に示す。それぞれ締結されている部材は、組立H型断面梁では3部材、組立箱型断面柱では2部材と締結長さ

が異なり, No. 1 と No. 7 では丸鋳では長さが違う異なる鋳であるが, いずれも低炭素鋼であるといえる。

表 6 丸鋳の成分分析結果 (mass%)

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	B
No.1	0.17	0.21	0.40	0.033	0.046	0.10	0.03	0.04	<0.01	<0.003	<0.0001
No.7	0.12	0.21	0.36	0.029	0.047	0.11	0.04	0.05	<0.01	<0.003	<0.0001

3.2.6 炭素当量，溶接割れ感受性

丸鋳を除く各鋼材の成分分析値より，炭素当量 Ceq (JIS) と溶接割れ感受性組成 PCM を求めた結果を表 7 に示す。各計算式は下記による。

- 炭素当量 (%) ・ ・ ・ JIS
 $Ceq=C+Si/24+Mn/6+Ni/40+Cr/5+Mo/4+V/14$
- 溶接割れ感受性組成 (%)
 $PCM=C+Si/30+Mn/20+Cu/20+Ni/60+Cr/20+Mo/15+V/10+5B$

表7 炭素当量 Ceq と溶接割れ感受性 Pcm

	炭素当量(%)	溶接割れ感受性(%)
BF-1	0.25	0.18
BF-2	0.40	0.35
BF-3	0.41	0.31
BW-1	0.32	0.27
CL-1	0.55	0.47
CL-2	0.32	0.25
CP-1	0.20	0.16

今回調査した成分については，組立H型断面梁・等辺山形鋼 (BF-1, BF-2, BF-3) や組立箱型断面柱の等辺山形鋼 (CL-1, CL-2) の分析結果が示す様に，同じ構造材でも使用されている部材で異なる鋼材が使用されていたと考えられる。

等辺山形鋼の BF-3 と CL-1 は，他の鋼材より P の量が多い傾向が確認されたが，この鋼材に相当する，当時の規格である日本標準規格の構造用圧延鋼材（第 20 号種別 G9）³⁾ では以下の様に記載されている。

- 種別
第一種
第二種: 橋梁材及び厚 6mm 以上の鋼板ならびに鋳材には用いざるものとす
- 製造法
第一種: 酸性または塩基性平炉により製造
第二種: 酸性または塩基性平炉もしくは転炉により製造
- 化学試験

鋼材の成分中の燐及び硫黄の含有量は次表の制限を超過することを得ず

種別	燐 %	硫黄 %
第一種	0.06	0.06
第二種	平炉に依る場合	0.08
	転炉に依る場合	0.12

以上の内容と P の分析値 (BF-3 が 0.087%, CL-1 が 0.102%) を比較すると，両鋼材ともに平炉材の規定値を超え，第二種に示された規定値に相当することから転炉材の可能性が考えられるが，第二種とすると本鋼材は厚さ 10mm であり規格外となる。

引張試験結果にて異なる傾向がみられた鋼材の成分を分析した結果を以下にまとめる。

- 組立H型断面梁の等辺山形鋼 3 種類の分析結果を比較すると，数

値に差異が認められることから，異なる鋼材を使用していたと推定された。

- 組立箱型断面柱の等辺山形鋼 2 種類の分析結果でも，元素により数値に差異が認められ，異なる鋼材を使用していたと推定された。
- 当時の日本標準規格の構造用圧延鋼材の規定値と比較すると，No. 4 組立H型断面梁の等辺山形鋼 BF-3 と組立箱型断面柱の等辺山形鋼 CL-2 の P の分析値が，化学試験項目の平炉材の制限を超え，板厚が規格外ではあるが第二種の転炉材の規定値に準じた P の値であった。

以上のことから，同一形状の部材でも構成している鋼材に異なる鋼材が使用されていたと推定された。

3.3 組織分析

3.3.1 金属組織調査

金属組織に関し調査した項目を表 8 に示す。丸鋳以外の試験片採取位置は，引張試験と同一箇所とし，番号も引張調査に準じ採番した。

表 8 鋼材調査項目

試験片	形状	部材	名称	断面マクロ	断面ミクロ	清浄度	介在物	硬さ	成分分析
BF-1	等辺山形鋼	組立H型断面梁No.1	フランジアングル	○	○	○	○	○	○
BF-2		組立H型断面梁No.4		○	○	○	○	○	○
BF-3		組立H型断面梁No.4		○	○	○	○	○	○
BW-1	平鋼	組立H型断面梁No.7	ウェブプレート	○	○	○	○	○	○
CL-1	等辺山形鋼	組立箱型断面柱No.7	芯材アングル	○	○	○	○	○	○
CL-2		組立箱型断面柱No.6		○	○	○	○	○	○
CL-3		組立箱型断面柱No.7		○	○	○	○	○	○
CP-1	平鋼	組立箱型断面柱No.6	翼材プレート	○	○	○	○	○	○
CP-2		組立箱型断面柱No.6		○	○	○	○	○	○
CP-3		組立箱型断面柱No.4		○	○	○	○	○	○
No.1	丸鋳	組立H型断面梁No.4	リベット(丸鋳)	○	○	○	○	○	○
No.7		組立箱型断面柱No.7		○	○	○	○	○	○

調査方法は，各部材の外観を記録する外観観察と，切断時に断面で亀裂が確認された等辺山形鋼 (CL-2) と丸鋳について，断面研磨後エッチングを行い，マクロ組織を観察した。

各鋼材より採取した試験片を樹脂埋込し，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。観察方向は引張試験片を採取した長手方向に平行な面の断面中央で観察した。

3.3.2 外観観察

組立H型断面梁は平鋼のウェブを等辺山形鋼で両面から挟み丸鋳で締結しフランジを構成した構造で，組立箱型断面柱は 4 角の等辺山形鋼を平鋼と丸鋳にて締結した構造である。

丸鋳の断面は写真 3 のとおりで，鋳の径が約 20～22mm，鋳頭径が約 32～35mm であった。組立H型断面梁は部材 3 枚 (約 29mm) を貫通し締結，組立箱型断面柱は部材 2 枚 (約 19mm) を貫通して締結していることから，当時の日本標準規格 (第 39 号類別 G17) 「鋳」の丸鋳の寸法規定より，径 22mm，鋳頭径 35mm で No. 1 の鋳が長さ 65mm，No. 7 が長さ 52mm の丸鋳と推定された。

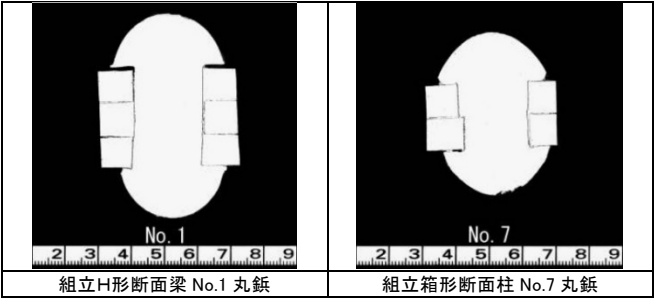
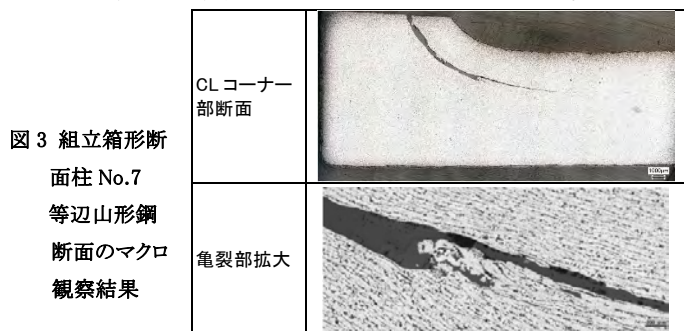


写真 3 丸鋳断面

3.3.3 マクロ観察

マクロ観察の結果、図3のとおり、組立箱型断面柱No.7の等辺山形鋼の一部で亀裂が確認された。亀裂は内角側近傍に内角Rに沿うように割れ、巻き込み状の組織が観察されることから、鋼材圧延時に表面に精製した酸化被膜をまきこんだものと推定された。



3.3.3 金属組織観察

①組立H型断面梁

組立H型断面梁・等辺山形鋼の断面組織を図4に示す。各鋼材ともにフェライトパーライトに介在物が観察される金属組織であるが、BF-3はBF-1とBF-2とは異なりパーライト組織が層状を呈していた。またBF-2はBF-1よりパーライト量が多い傾向が観察されるなど各鋼材で異なる様相を呈していること、成分分析の化学分析値でC、Si、Pの濃度が大きく異なっていることから、それぞれ異なる材質の鋼材と推定された。組立H型断面梁の平鋼の断面組織においても、フェライトパーライト組織と介在物が観察された。

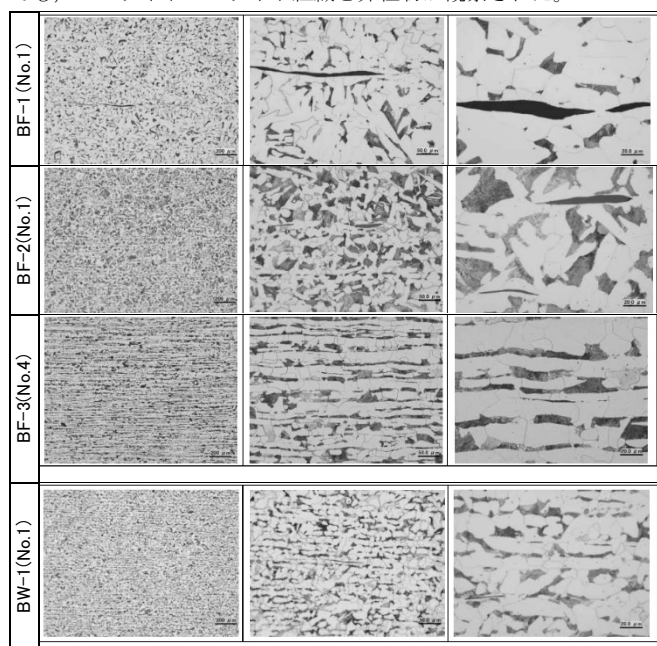


図4 組立H型断面梁等辺山形鋼(フランジアングル)の組織観察結果

②組立箱型断面柱

断面組織を図5に示す。組立箱型断面柱の等辺山形鋼は各鋼材の組織でパーライトが層状となっており、CL-1のパーライト量はCL-2、CL-3より多い傾向が観察され、化学成分分析結果からみてC量がCL-1 (0.43%)、CL-2 (0.20%)と異なっているためと考えられる。また層状組織が共通していないなど、異なる鋼材であると推定された。組立箱型断面柱の平鋼はフェライトパーライト組織で、非金属介在物も少なく、フェライト粒径も類似した大きさであった。

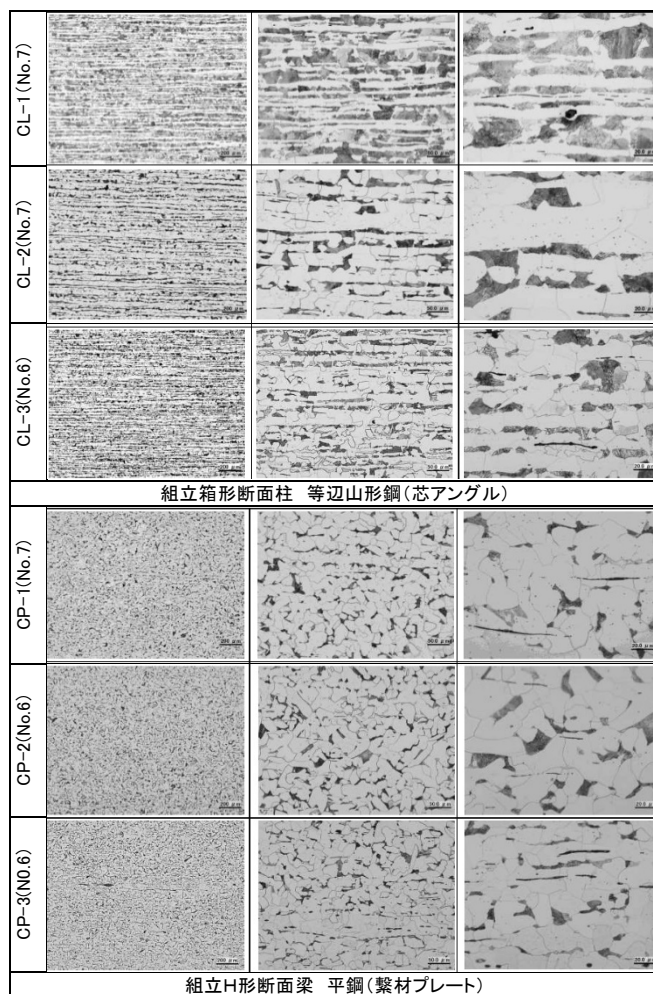


図5 組立箱型断面梁の組織観察結果

③丸鋳

丸鋳の金属組織結果を図6-1、6-2に示す。組立H型断面梁では、鋳頭の片側と軸部の金属組織が類似し粒径が粗大化し、他方の鋳頭ではフェライトパーライト組織が観察された。鋳の締結は鋳全体を加熱後、締結箇所へ押し込み後に軸端部を加工して焼き締める為、熱間で加工した側が細粒化したと推定された。組立箱型断面柱でも、軸部の金属組織で結晶粒の粗大化が観察されたが、鋳頭側での金属組織の差異は確認されなかった。

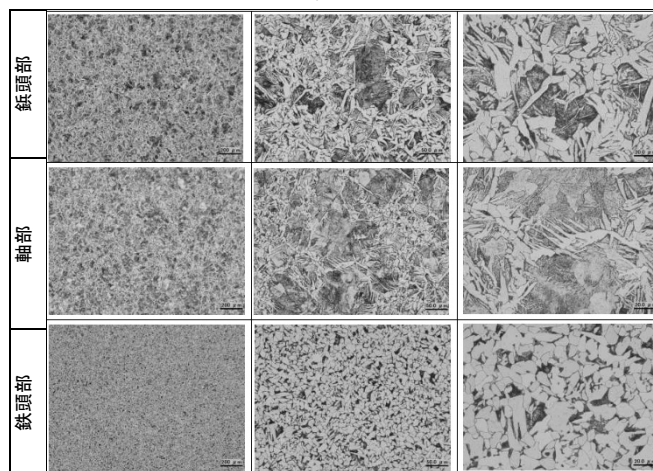


図6-1 組立H形断面梁No.1丸鋳の組織観察結果

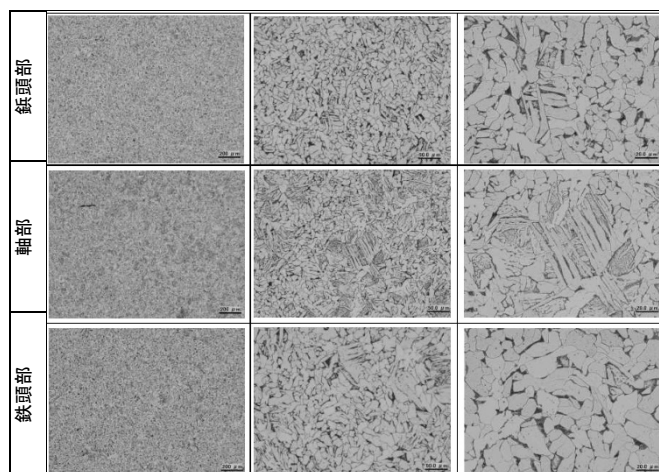


図 6-2 組立箱形断面柱 No.7 丸鉄の組織観察結果

3.3.4 清浄度

各鋼材より採取した試験片を樹脂埋込し、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。鋼材に存在する非金属介在物は、大きく分けて 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_2 。

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で不規則に分散した粒状物。たとえばシリケート等。

断面研磨を行った各鋼材の光学顕微鏡での観察面にて点算法により介在物を測定した結果を表 9 に示す。

鋼材の通常の数値は形鋼で 0.20～0.35 程度といわれている。それからすると、本調査対象材は比較的清浄な鋼材といえる。ちなみに明治末から大正時代の鋼材は 0.3～0.5 程度と非金属介在物が多いことがわかる。⁴⁾

表 9 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
等辺山形鋼	BF-1	0.06	0.01	0.09	0.16
	BF-2	0.12	0.00	0.02	0.13
	BF-3	0.18	0.00	0.00	0.18
平鋼	BW-2	0.08	0.00	0.08	0.15
等辺山形鋼	CL-1	0.11	0.01	0.02	0.13
	CL-2	0.11	0.00	0.00	0.11
平鋼	CP-1	0.01	0.00	0.02	0.03
丸鉄	No. 1	0.05	0.01	0.00	0.05
	No. 7	0.05	0.01	0.00	0.06

3.3.5 非金属介在物

清浄度測定を行った観察面にて、SEM-EDS により非金属介在物を観察した（図 7 は BF-1 の例を示す）。介在物は清浄度測定で確認された様に細長く変形した A 系と粒状の C 系が主に観察され、A 系、C 系で MnS と推定される介在物が確認できるが、A 系でも MnS の他に Al , Si , Ca が検出される介在物も確認され、CL-1 の B 系の介在物でも Al , Si , Ca が検出された。とくに組立箱型断面柱に使われていた等辺山形鋼 (CL 材) の非金属介在物中にはカルシウム (Ca) 含有率が高く検出され、おそらく精錬段階 (製鋼) で石灰系物質の使用が伺える。

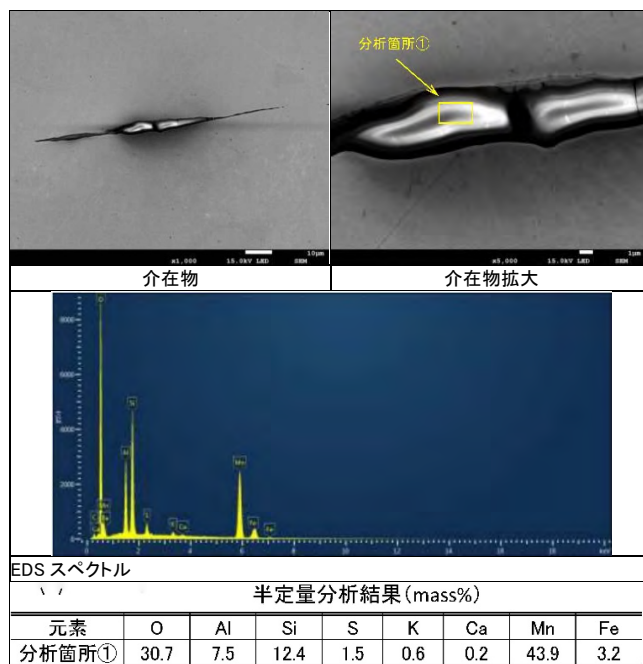


図 7 BF-1 介在物

3.3.6 硬さ

清浄度測定を行った観察面にて硬さを測定した結果を表 10 に示す。傾向としては、等辺山形鋼でも同じ組立型断面 H 型梁の BF-1 が BF-2 と BF-3 より硬さが低く、同じ組立箱型断面柱の CL-1 が CL-2 より硬さが高い傾向が確認された。成分分析にて炭素量が 0.43% であった CL-1 と炭素量が 0.31% であった BF-2 は、硬さが高い傾向があり、炭素量が硬さに影響していることが推察された。また炭素量が 0.26% であるがりがんが 0.087% であった BF-3 でも硬さが BF-2 とほぼ同等の硬さであり、りんの含有量も硬さに影響している可能性が推定された。

以上の鋼材の硬さ測定結果は、明治末～昭和初期に建設された他の建物に使用された部材と、ほぼ同水準の値であった⁵⁾。

表 10 硬さ測定結果 (HV10)

		n	硬さ	平均			n	硬さ	平均
等辺山形鋼	BF-1	1	128	129	等辺山形鋼	CL-1	1	174	176
		2	127				2	172	
		3	131				3	181	
	BF-2	1	159	159		CL-2	1	140	143
		2	160				2	144	
		3	158				3	145	
	BF-3	1	159	161	平鋼	CP-1	1	121	125
		2	161				2	126	
		3	164				3	127	
平鋼	BW-1	1	139	137	丸鉄	No.1	1	161	162
		2	140				2	163	
		3	133				3	161	
		1	137	138		No.1	1	137	138
		2	139				2	139	
		3	138				3	138	

4. 考察

我が国の構造用鋼の生産は、明治 34 年の八幡製鉄所の操業に始まる。生産が軌道に乗ったのは日露戦争後の明治 40 年ころからである。本調査品の時期は、原料銑鉄が逼迫していた時期でインドから銑鉄、アメリカから屑鉄を輸入し、国内生産との比率は約 50% であった。また、製鋼設備も転炉を導入するも安定した操業は期待できず、もっぱら平炉によっていた時代であった。以上の様な生産環

境の中で製造された鋼材であった。その結果の要旨は以下のとおりである。

1) 引張試験特性

引張試験結果より、引張強さ 400N/㎟ミリメートルクラスの鋼材であったが、大正 15 年制定の日本標準規格「構造（橋梁、建築其ノ他）用圧延鋼材」では種別区分が制定されず、引張強さ伸び等による種別が制定されたのは昭和 13 年であった⁶⁾。試験結果では、引張強さや応力-ひずみ曲線に差異がみられ、

- ・組立H型断面梁・等辺山形鋼（BF-1, BF-2, BF-3）
BF-1 と BF-2, BF-3 で応力-ひずみ曲線で挙動が異なる。
- ・組立H型断面梁・平鋼（BW-1, BW-2, BW-3）
応力-ひずみ曲線がほぼ一致。
- ・組立箱型断面柱・等辺山形鋼（CL-1, CL-2, CL-3）
CL-1 が CL-2 と CL-2 の応力-ひずみ曲線と挙動が異なる。
- ・組立箱型断面柱・平鋼（CP-1, CP-2, CP-3）
ほぼ類似した応力-ひずみ曲線。

以上の傾向が確認されたことから、等辺山形鋼では異なる鋼材が使用され、組立H型断面梁は類似した鋼材と推定される。

2) 化学成分

化学成分分析結果および窒素分析結果をまとめると、次の通りである。

- ・炭素量（C）：0.1～0.4%の低～中炭素鋼
- ・ケイ素（Si）：0.01～0.2%，
- ・マンガン（Mn）：0.3～0.6%
- ・りん（P）：0.08～0.1%と規格を超えたものが存在（BF-3, CL-2）
酸性転炉精錬の可能性示唆。
- ・硫黄（S）：規格を超えたものが存在
- ・銅（Cu）：0.1%以上のものが多く存在
屑鉄由来、または始発原料由来（含銅鉄鉱石）

施工時である昭和 10（1935）年以前の転炉は八幡製鉄のベッセマー転炉（1901～1927 年）になるか⁷⁾、酸性転炉ではりんの除去ができないことから、りん含有量が高い鋼材は転炉材の可能性も示唆されたが、1927 年に休止しており、1935 年当時は平炉による精錬が主体と思われる。当時の転炉材については窒素量が多い傾向が確認されていることから⁸⁾、鋼材中の窒素を確認することが有効と思われる。

3) 組織観察

清浄度、介在物観察を含む組織観察結果としては、下記の傾向が確認された。

- ・フェライトパーライト組織（低～中炭素鋼）
- ・非金属介在物は、A 系（主に MnS）、A・C 系のもの
- ・清浄度測定では非金属介在物は少ない

また、金属組織では下記の様に観察された。

- ・組立H型断面梁
等辺山形鋼（BF-1, BF-2, BF-3）は、異なる鋼材。
平鋼（BW-1, BW-2, BW-3）は同一鋼材。
- ・組立箱型断面柱
等辺山形鋼（CL-1, CL-2, CL-3）は異なる鋼材。
平鋼（CP-1, CP-2, CP-3）は同一鋼材。

このことから、等辺山形鋼は異なる鋼材が使用され、平鋼は同一の

鋼材が使用されていたと推定される。

5. まとめ

昭和 10 年に竣工した海軍倉庫建築について、解体時に回収した鋼材の調査結果を以下にまとめる。

- ・等辺山形鋼の一部に酸化被膜と推定される巻き込みが観察された。
 - ・各鋼材の金属組織は、フェライトパーライト組織であった。
 - ・組立H形断面柱は、各鋼材はフェライトパーライト組織であるが、観察した 3 種類の等辺山形鋼それぞれ異なる傾向を呈していた。
 - ・組立箱型断面柱では、各鋼材のパーライト組織が層状を呈し、パーライト量に差異が確認されたが、平鋼は比較的類似した組織であった。
 - ・丸鋳の金属組織では、加熱や加工の影響が観察された。
 - ・清浄度は、0.03%～0.18%であった。
 - ・硬さは、組立H型断面梁の等辺山形鋼が 137HV～161HV、平鋼が 176HV、丸鋳が 138HV であり、組立箱型断面柱の等辺山形鋼が 125HV～143HV、平鋼が 162HV、丸鋳が 128HV であった。
- 建屋に使用されていた鋼材については、同じ形状の梁や柱でも、異なる鋼材が使用されていたことが確認された。

謝辞

本調査では、在日米海軍横須賀基地および米陸軍工兵隊日本地区技術本部横須賀工事管理事務所の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おいて実施していただきました。ここに深く感謝申し上げます。

注

- 1) 商工省工業品規格統一調査会；日本標準規格（縮版）合本第 1 巻（1937）
- 2) （財）土木研究所：古い年代の鋼部材の材料・強度特性から見た状態評価技術に関する研究, 2011
- 3) 日本標準規格第 20 号種別 G9, 大正 14 年 3 月 7 日決定 「構造（橋梁、建築其の他）用圧延鋼材」
- 4) 西和英和 明治以降の歴史的建造物に見える鉄の歴史 ふえらむ Vol.6 2001
- 5) 山崎鯛介 旧犬吠埼霧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 Vol.1.6 2001
- 6) 商工省 日本標準規格合本第 1 巻 1932
- 7) 新日本製鉄株式会社 八幡製鉄所八十年史 1980
- 8) 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 36(2) 2009

社寺建築物に用いられる厚塗り土壁を有する木造軸組架構の耐震性能評価法の構築

香川大学 創造工学部 准教授 宮本慎宏

1. はじめに

土塗壁は伝統構法の社寺建築に多く見られるが、既往研究は主に部材寸法の小さい住宅建築を想定しており、社寺建築の土塗壁を想定した研究例は少ない。本研究では社寺建築を想定した土塗壁を有する木造軸組架構の静的加力実験とフレーム解析モデルを用いた静的増分解析を行い、実験結果と解析結果を比較することで社寺建築における土塗壁の構造性能評価を行うことを目的とする。

2. 静的加力実験概要

試験体は図 1 に示す軸組架構体の試験体Ⅰ、Ⅲと土塗壁を有する試験体Ⅱ、Ⅳの計 4 体である。樹種は桧材とし、柱間寸法は 1400mm、高さは 1900mm、柱は 180×180mm、頭貫は 80×130mm、内法貫および足固貫は 50×90mm である。各柱の頂部には大斗を想定した角材を置いて木ダボで固定し、頭貫一柱接合部の仕口は輪薙ぎ込み、内法貫および足固貫一柱接合部の仕口は渡り顎楔止めとした。土塗壁は全体の厚さを 50mm とし、層構成は荒壁土と中塗り土の 2 種類、荒壁土および中塗り土ともに香川県の粘土を使用する。

図 2 に示すように静的載荷実験は押し引き両動の油圧ジャッキを用いて頭貫に水平荷重を加え、柱 1 本当たりを上載荷重 20kN を与える。真のせん断変形角 γ_0 が 1/200, 1/100, 1/75, 1/50, 1/30, 1/20, 1/15rad において正負 3 回ずつの正負交番加力とし、1/10rad は負方向に 1 回加力を行う。

3. 実験結果

試験体 4 体の実験結果の比較図を図 3 に示す。図 3 から明らかなように、4 体の試験体における最大水平荷重は試験体Ⅳ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅰの順に大きく、試験体のすべてに 1/20～1/15rad にかけて急激な荷重の低下がみられた。これは、柱と足固貫および内法貫の接合部に割裂破壊が生じ、土塗壁の面外変形が進行したことが原因として挙げられる。1/15rad 時における土塗壁の破壊性状を図 4 に示す。土塗壁部分の縦横比が 1:1 の試験体Ⅱは 1/15rad 時に壁全体が剥落し、土塗壁部分の縦横比が 2:1 の試験体Ⅳは実験終了時まで壁全体の剥落が生じることはなかった。このことから、土塗壁は縦横比によって破壊性状が異なることがわかった。

4. 静的増分解析概要

株式会社構造システム製の汎用解析ソフト SNAPVer.7

を用いてフレーム解析モデルを構築する。静的増分解析の対象とする試験体は実大実験を行った試験体と同じとする。柱脚はピン拘束とし、頭貫の左端部から水平右方向に 0.1mm の増分で強制変位を与え、変位が 190mm に達した時点で終了とする。フレーム解析モデルでは柱傾斜復元力を水平バネ、柱と貫の接合部の復元力を回転バネ、土塗壁をトラスで表現する。柱傾斜復元力は文化庁による既往の計算式¹⁾、柱一貫接合部におけるめり込み抵抗は既往の通し貫の計算式²⁾に頭貫と柱のめり込み抵抗³⁾を加味したもの、土塗壁は既往の荷重変位関係¹⁾から算出した。

5. 実験結果と解析結果の比較

各試験体の静的加力実験結果と静的増分解析結果の比較図を図 5 に示す。図 5 から明らかなように軸組架構体における解析値と実験値は概ね一致しており、挙動特性を再現できている。しかし、土塗壁を有する軸組架構体では載荷中に土塗壁の面外変形が発生したため急激に耐力が低下し、実験値と解析値に差異が生じた。図 6 の解析結果における各抵抗要素の荷重変形角曲線に注目すると、試験体Ⅰ、Ⅲでは内法貫が増加すると初期時における貫の荷重は大きくなり、終局時には抵抗要素が貫のみとなることが明らかとなった。試験体Ⅱ、Ⅳでは内法貫が増加すると初期時における貫の荷重は大きくなり、終局時には抵抗要素が貫と土塗壁のみとなることがわかった。

6. まとめ

本研究では土塗壁を有する軸組架構体の静的載荷実験を行い、荷重変形関係および破壊性状を把握した。その結果、1/20～1/15rad にかけて内法貫および足固貫の接合部に割裂破壊、また、土塗壁の面外変形が生じたため、急激な荷重の低下がみられた。この実験結果を踏まえて静的増分解析を行った結果、木造軸組架構体の解析値と実験値は概ね一致し、挙動特性を再現できていたが、土塗壁を有する木造軸組架構体においては土塗壁の面外変形が生じたため、解析値と実験値で差異が生じた。

参考文献

- 1) 文化庁「重要文化財(建造物)耐震基礎診断実施要領」, pp.12-13, 2013.06
- 2) 日本建築学会「木質構造接合部設計マニュアル」, pp.254-264, 2010.09.01
- 3) 稲山正弘「木材のめりこみ理論とその応用」, 東京大学工学部博士論文, 1991.12

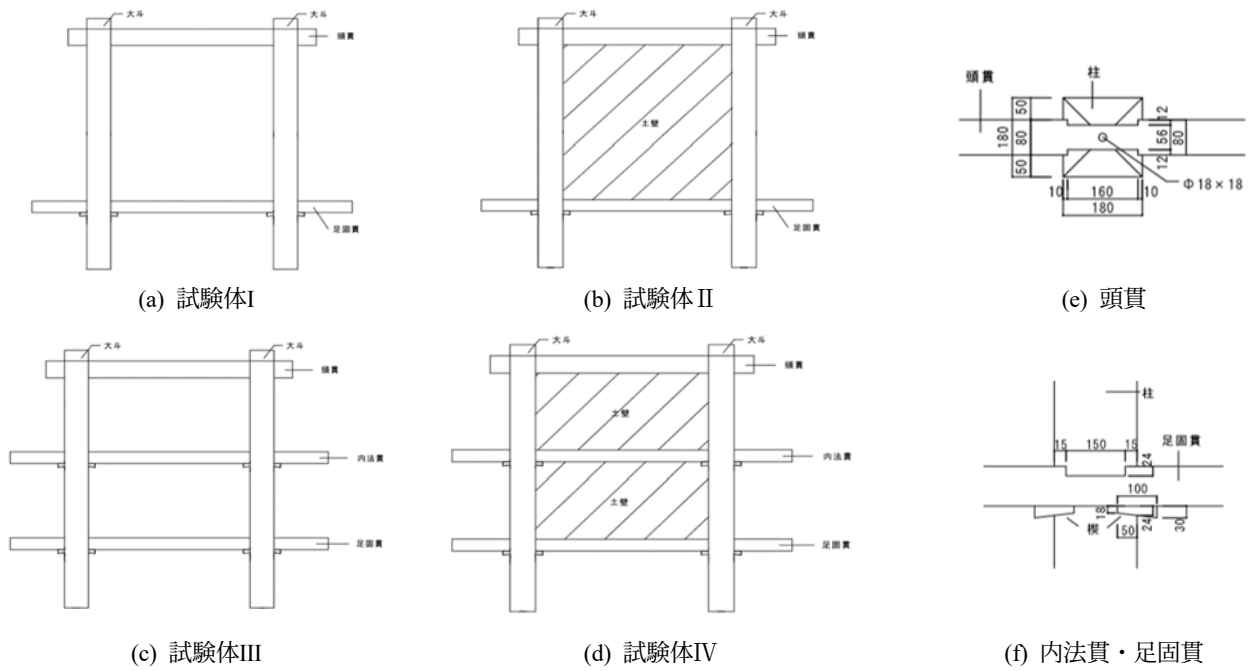


図1 試験体の詳細図

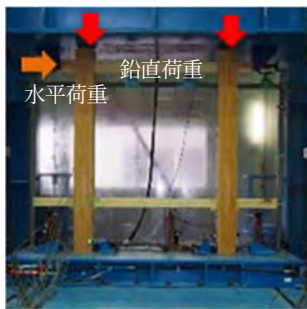


図2 載荷時の様子

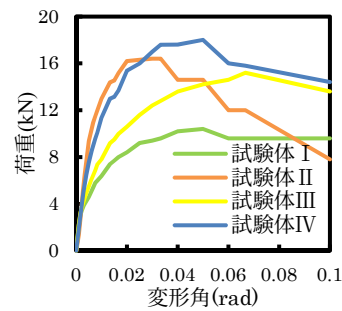


図3 実験結果の比較

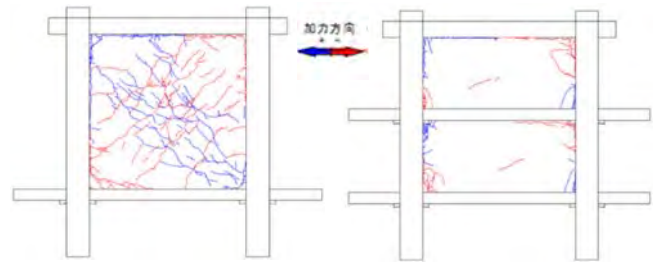
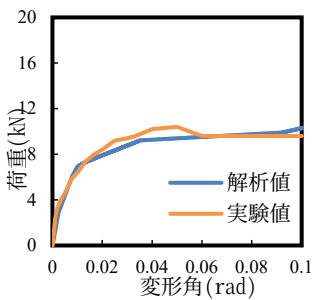
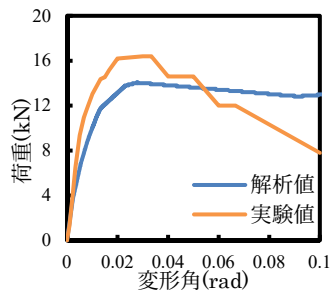


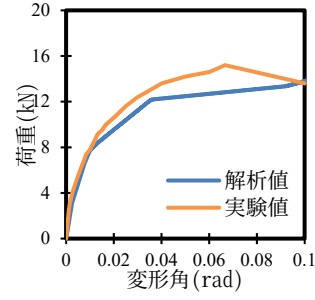
図4 1/15rad 時における土塗壁の破壊性状



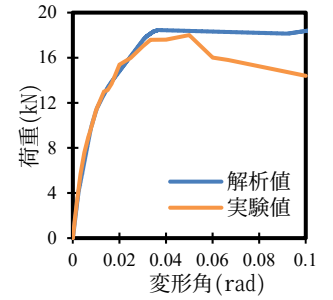
(a) 試験体I



(b) 試験体II

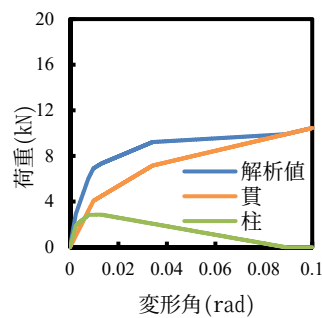


(c) 試験体III

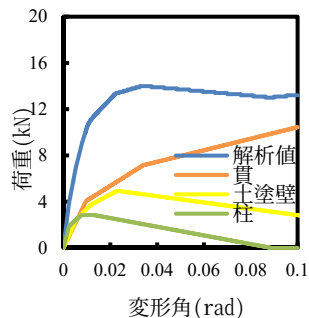


(d) 試験体IV

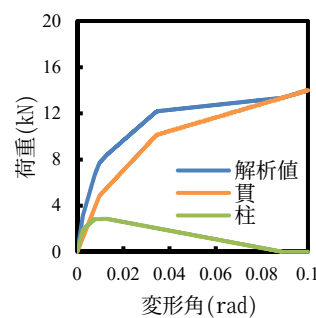
図5 静的増分解析結果と静的加力実験結果における荷重変形角曲線の比較



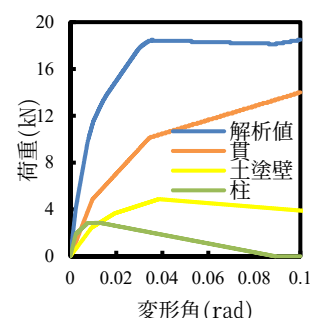
(a) 試験体I



(b) 試験体II



(c) 試験体III



(d) 試験体IV

図6 各抵抗要素の荷重変形角曲線

伝統木造建築の保存設計のための土壁と壁土の実験データベース構築による土壁の性能分析

京都工芸繊維大学 デザイン・建築学系 村本 真

1. はじめに

文化財建造物には土壁を有する建物が多く、建物の価値を失わないように保存・活用するためには、耐震診断と補強計画で、信頼性の高い評価情報が必要である。しかし、これまでの耐震性能評価では、実験情報が必ずしも十分に整理されて活用されているわけではない。本研究では、既往の土壁実験・壁土の材料実験を網羅的にデータベース化し、様々な仕様の土壁の分析を進め文化財の保存設計に供することを目的としている。

2. 壁厚が薄い場合の土壁の耐震性能

これまでの実験報告には、壁厚が薄い場合がほとんどなく、これまでに作成してきた土壁実験データベースにも当然ながら収録されていない。しかしながら、茶室・数寄屋建築においては、薄壁となる場合があり、壁厚は土壁の耐力に必ずしも比例関係にあるわけではないため、壁厚が薄い土壁を有する架構の耐震性能を評価する必要がある。そこで、新たに壁厚 45mm 程度の土壁の繰り返し載荷実験を実施し、土壁データベースに追加した。ここでは、開口を有する場合、および茶室でみられるような丸柱の場合の軸組架構の耐震性能についても調べた。

実験の結果、壁厚が 45mm と薄くとも柱径 90mm 程度で長柄ほぞ込み栓打ち接合部となる場合は、接合部破壊が生じ、柱が浮き上がり浮き上がらない場合に比べてかなり低い耐力となることなどを確認した。

3. 壁土の実験データベースの構築

土壁の実験データベースは、上記のように、かなりの数を収集し整理しているが、土壁の耐力に影響を与える壁土の材料特性を把握できるようなデータベースは未開発であった。そこで、土壁の場合と同様に、既往の実験報告を収集し、材料特性値を整理した。圧縮試験の結果で、応力-ひずみ関係が図示されているものは数値化し弾性係数を JIS A 1216(2009) に準じて算出した。また、試験体の情報として、壁土の分類、壁土の産地、調合、試験体形状、試験体寸法なども整理した。

4. 壁土の実験データベースを用いた深層学習による強度推定

作成したデータベースを用いて、壁土の材料特性を分析する。はじめに土壁の性能分析のために重要な特性値である壁土の圧縮強度を推定する方法を検討した。ここでは、データベースから、1つの試験体から圧縮強度、弾性係数、密度の3つの材料特性が把握できたものを1つのデータセットとし、334個のデータセットを処理する。実験報告の全てで3つの材料特性値が示されているわけではなく、データベースには欠損がある。既往の実験報告を利用するならば、壁土の材料特性に産地や試験体形状による特性の違いがあることから、必ずしも材料特性値間に単純な関係性があるとは限らない。そこで、本報告では非線形回帰を用いることとして、深層学習（以降、DNN と呼ぶ）による壁土の強度推定を試みた。

本研究では、Neural Network Console (NNC)¹⁾ を用いて上記のデータセッ

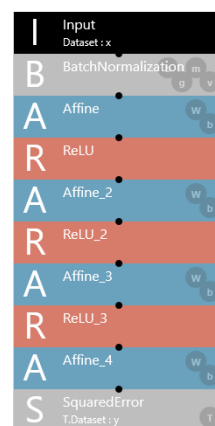


図1 DNN モデル

ト一式を処理した。設計した DNN モデルを図 1 に示す。Input には弾性係数、密度、壁土の分類、試験体形状からケース毎に説明変数がそれぞれ入力される。これらの特性値や質的変数から、いくつかの DNN モデルを検討した。最終的に、弾性係数、密度、壁土の分類、試験体形状を設定して学習を行った結果、生成された DNN モデルから出力される推定値と実験値との相関は図 2 のようになった。相関係数は全データの場合 0.93, 評価データのみの場合 0.81 であった。この DNN モデルが最も高い推定精度となった。

これらの検討では、同じ壁土配合であっても、試験体形状によって実験結果が異なっていることが DNN の推定精度に影響していることもわかった。この手法を用いることで、新たな地域の壁土実験を追加する場合にも、壁土強度の推定を効率化できる。さらなるデータ収集により推定精度の向上が期待できると思われるが、試験体形状に関する影響をどのように評価すべきかについては課題がある。

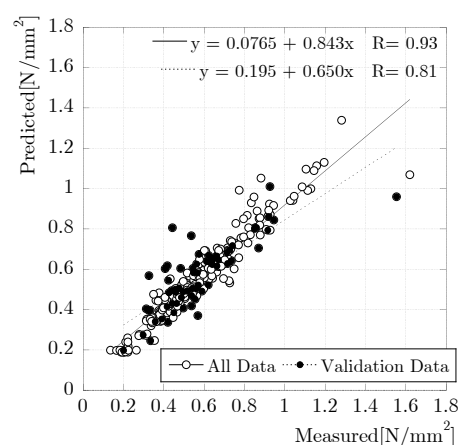


図 2 弾性係数、密度、壁土の分類と試験体形状による DNN の推定結果

5. 京都深草産壁土の材料特性の分析

上記の壁土の実験データベースに収録した他研究者らの実験報告からは、地域毎の壁土の密度、弾性係数と圧縮強度が揃ったデータセットを必ずしも十分に得られないことがわかった。そこで、産地を京都に絞り 2014 年～2019 年までに筆者らが実施した壁土圧縮実験の結果を整理し、壁土の材料特性を再評価することとした。本報告では、京都深草産壁土の材料特性を統計的に検討し、応力-ひずみ

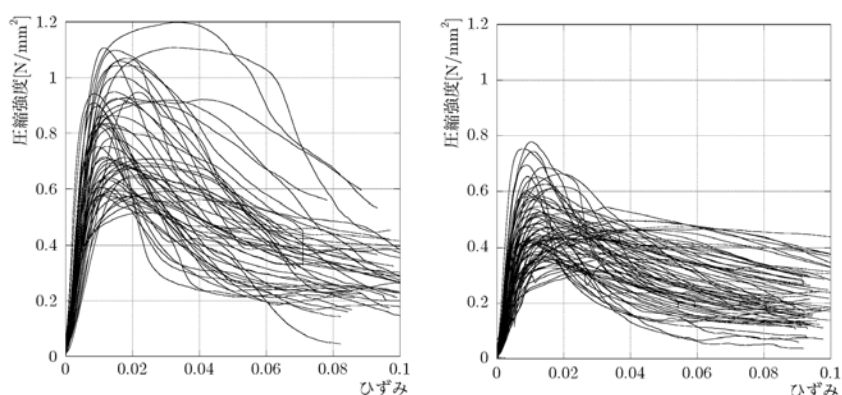


図 3 実験の応力-ひずみ曲線

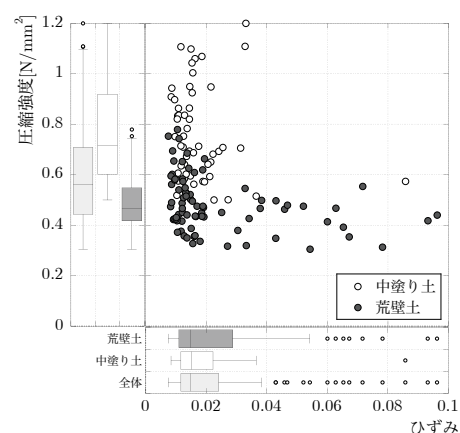


図 4 圧縮強度点の位置

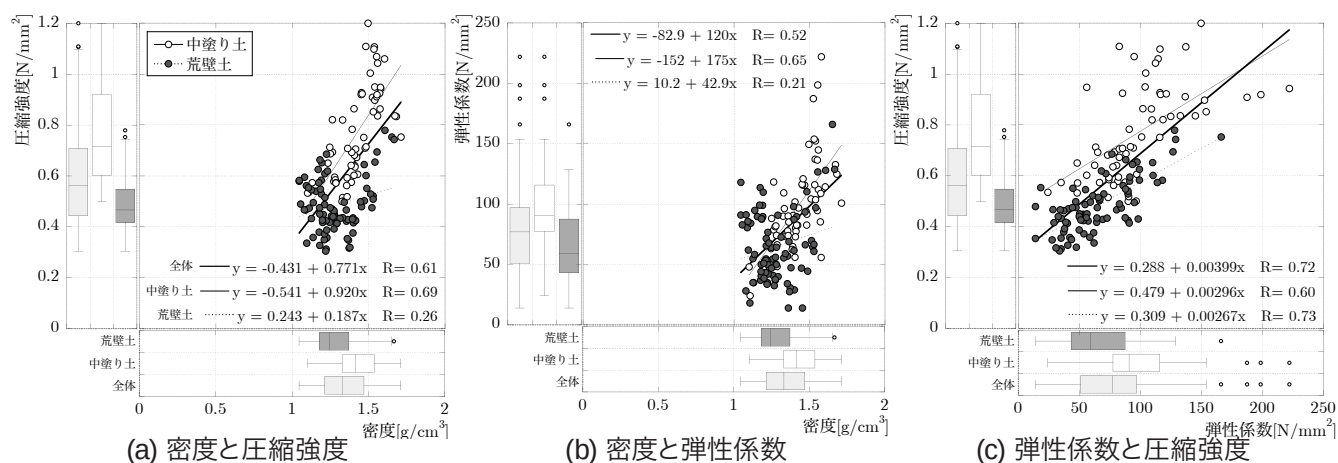


図 5 材料特性値間の関係

み曲線を整理した。整理した実験結果を図3に示す。これらの応力-ひずみ曲線での圧縮強度点は図4のような分布となっていて、荒壁土と中塗り土で分布領域に特徴がみられる。

図3を整理し、壁土の種類毎に材料特性値間の関係を図5に示す。中塗り土と荒壁土の特性値の範囲は一部で重なっている。荒壁土のみでは密度との関係で相関が低い。中塗り土と全体では、全てで相関がみられるが、荒壁土に相関係数が影響を受けている。京都深草産の壁土では、壁土の分類をせずに全体として材料を評価することで、材料特性値間に関係性をみることができる。

6. おわりに

本研究では、土壁実験のデータベース^{2), 3)}に新たに壁厚30mm～45mm程度の薄い壁厚の実験結果を追加して整備した。また、新たに壁土に関する強度試験報告を収集し壁土実験のデータベースを作成した。壁土実験のデータベースを用いて、深層学習を用いた強度推定方法を検討した。さらに京都深草産壁土の圧縮実験146体の結果を整理し、材料特性値間の関係性を示し、応力-ひずみ曲線を整理した。なお、壁土実験のデータベースの整備については、材料特性値が必ずしも揃っているわけではなく、欠損がある。

謝辞

既往の実験報告の収集と整理では、京都工芸繊維大学大学院生の朝倉尚平君、櫻田理沙子さんの協力を得ました。また、深層学習による壁土強度の推定では、高知工業高等専門学校ソーシャルデザイン工学科の中山信准教授の協力を得ました。ここに感謝してお礼申し上げます。

参考文献

- 1) Sony Network Communications Inc.: Neural Network Console, <https://dl.sony.com>, (accessed:2019.5.5)
- 2) 村本 真, 田邊雄太, 平田 良, 森迫清貴: 全面土壁の静的繰返し載荷実験に基づく壁倍率の統計的検討, 日本建築学会構造系論文集, 第82巻, 第732号, pp. 215-225, 2017. 2
- 3) 村本 真, 田邊雄太: 一間幅全面土壁の静的繰返し載荷実験の統計的検討に基づく土壁の荷重-変形角包絡曲線の推定方法, 日本建築学会構造系論文集, 第82巻, 第739号, pp. 1391-1401, 2017. 9

発表論文

- [1] 村本 真, 中山 信: 壁土の材料実験結果を用いた深層学習による強度推定, 日本建築学会近畿支部研究報告集・構造系, 第60号, pp. 17-20, 2020. 6
- [2] 朝倉尚平, 村本 真: 京都深草産壁土の材料特性とその応力-ひずみ曲線, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2p., 2020. 9 (掲載予定)

越後大工・小黒左右衛門の建築活動と建築作品の特徴

目黒 新悟

（独立行政法人国立文化財機構 奈良文化財研究所 研究員）

1. 序

1-1. 目的 村上藩味方組大庄屋の住宅であった、重要文化財旧笹川家住宅（新潟市南区）の大工棟梁、小黒左右衛門重命（在世：1769－1856、以下「重命」と仮称）は、村松藩で代々続く大工一族の五代で、初代は出雲崎大工の出自をもつ¹⁾。重命は、村松藩から脇立肝煎上座、苗字帯刀、二人扶持を与えられた²⁾。本研究は、大工棟梁としての重命の建築活動と建築作品の特徴を明らかにすることを目的とする。

1-2. 方法 建築活動については、古文書などを資料として、重命が手がけた建築作品の名称とその所在地を把握した。その所在地を、文政年間に作成された「越後蒲原一郡鹿絵

図」³⁾と対照し、当時の領分を確認した。その上で、存否を確認するため踏査した。現存建築については実測調査を行い、作成した調書や図面に基づき検討を行った。

1-3. 先行研究 拙稿では重命の建築活動の一部を紹介し、曹洞宗寺院本堂と旧笹川家住宅表座敷とにみられる空間構成の類似性を指摘した²⁾。高橋恒夫氏は、既刊の報告書などから、小黒姓の越後大工による建築作品の一覧を作成した³⁾。これは、報告書等に掲載された現存建築が中心で、重命の建築作品はごく一部に限られ、重命に主眼を置く本研究とは目的が異なる。本研究は重命を対象に、活動のみならず建築作品の特徴を検討する点で異なる。

表1 重命の建築活動と現存建築の構造形式

No.	建築作品	上棟年	現在の所在地	領分	類型	主な典拠	存否	構造形式の主な点（規模は桁行×梁行）
①	愛宕神社社殿	享和元年（1801）	五泉市村松	村松	社殿	旧記帳	現存	9.7m×7.2m、寄棟造（妻入）、銅板葺（元茅葺）、組物なし、扇垂木
②	日吉神社本殿	享和2年（1802）	加茂市大字黒水	村松	社殿	推定	現存	1間社流造2.2m×3.5m、銅板葺、出三斗、二軒繁垂木
③	日吉神社拝殿	享和2年（1802）	加茂市大字黒水	村松	社殿	墨書	現存	3間7.2m×3間5.5m、向拝付、入母屋造、銅板葺、拳鼻付出組、二軒繁垂木
④	曹洞宗・願成寺三門	享和2年（1802）	五泉市川瀬	御料所（白河預）	門	旧記帳、名鑑	現存	1間1戸四脚門3.7m×3.0m、切妻造、銅板葺（元茅葺）、出三斗、二軒繁垂木
⑤	曹洞宗・正善寺本堂	文化（1804-1818）初年頃	五泉市小黒	御料所（白河預）	仏堂	旧記帳、名鑑	現存	14.5m×11.4m（六間取）、寄棟造、銅板葺（元茅葺）、大斗絵様肘木、一軒繁垂木
⑥	味方組大庄屋・旧笹川家住宅居室部	文政4年（1821）	新潟市南区味方	村上	上層民家	棟札	現存	26.5m×27.5m、複合屋根、銅板葺（元柿葺）、〈船桧造〉一軒繁垂木
⑦	味方組大庄屋・旧笹川家住宅表座敷	文政9年（1826）	新潟市南区味方	村上	上層民家	棟札	現存	33.4m×17.6m、式台庇付、複合屋根、銅板葺（元柿葺）、〈船桧造〉一軒繁垂木
⑧	真宗大谷派・了尊寺本堂	文政10年（1827）	新潟市秋葉区小須戸	新発田	仏堂	棟札	現存	17.0m×18.7m、向拝付、入母屋造、棧瓦葺（当初柿葺）、拳鼻付出組、〈船桧造〉正面二軒繁垂木（側背面一軒疎垂木）
⑨	曹洞宗・吉祥寺本堂	天保3年（1832）	五泉市橋田	御料所（白河預）	仏堂	棟札	現存	23.9m×18.0m（変形八間取）、向拝付、入母屋造（元寄棟造）、棧瓦葺（元茅葺）、拳鼻付平三斗、〈船桧造〉二軒（地垂木疎垂木、飛檐垂木繁垂木）
⑩	住吉神社拝殿	天保9年（1838）	五泉市村松	村松	社殿	棟札	現存	11.2m×10.2m、向拝付、複合屋根、銅板葺（元茅葺）、拳鼻付平三斗、二軒繁垂木
⑪	法華宗陣門流・本行寺鬼子母神堂	天保13年（1842）	五泉市村松	村松	社殿	棟札	現存	3間5.4m×2間3.7m、向拝付、入母屋造、銅板葺、拳鼻付出組、一軒繁垂木
⑫	白山神社拝殿	天保13年（1842）	三条市長沢	村松	社殿	棟札	現存	3間5.5m×2間4.6m、向拝付、入母屋造、棧瓦葺、拳鼻付出組、一軒繁垂木
⑬	日枝神社本殿	弘化2年（1845）	五泉市村松	村松	社殿	旧記帳	現存	3間社流造3.7m×2.3m、銅板葺、拳鼻付出組、二軒繁垂木
⑭	日枝神社拝殿	弘化2年（1845）	五泉市村松	村松	社殿	棟札	現存	10.0m×10.0m、向拝付、複合屋根、銅板葺、拳鼻付平三斗、二軒繁垂木
⑮	浄土真宗東本願寺派・専徳寺本堂	嘉永4年（1851）	燕市長所	高崎	仏堂	高橋1997	現存	14.2m×15.0m、向拝付、入母屋造、棧瓦葺、拳鼻付出組、二軒繁垂木
⑯	法華宗陣門流・本行寺山門	幕末（1853-1869）	五泉市村松	村松	門	村松町史・上	現存	1間1戸四脚門2.7m×2.4m、切妻造、棧瓦葺、出三斗、一軒繁垂木
⑰	日蓮宗・真如寺本堂	?	五泉市村松	村松	仏堂	旧記帳	現存	3間7.2m×3間8.4m、向拝付、入母屋造、銅板葺、拳鼻付出組、〈船桧造〉一軒繁垂木
⑱	法華宗陣門流・本成寺三十番神堂	?	三条市西本成寺	朱印地	社殿	旧記帳	現存	1間社流造2.1m×3.5m、銅板葺、拳鼻付出組、二軒繁垂木
⑲	浄土宗・安勝寺庫裡	文化8年（1811）	五泉市吉沢	白河	庫裡	旧記帳、明細帳	滅失	「間口六間奥行九間」（明細帳）
⑳	真宗大谷派・正進寺本堂	文政10年（1827）	新潟市秋葉区小須戸	新発田	仏堂	名鑑	滅失	?
㉑	新津組庄屋（大庄屋）・桂善正東吾家住宅	天保（1830-1844）初年頃	新潟市秋葉区新津本町	御料所（新発田領内継所付）	上層民家	旧記帳、目黒・黒野2019	滅失	40.0m×40.0m、式台庇・寄付庇付、複合屋根、棧瓦葺（目黒・黒野2018）「前通り式十式間程、裏行式十式間余り」（旧記帳）
㉒	曹洞宗・福昌寺庫裡	?	五泉市牧	村松	庫裡	旧記帳	滅失	?
㉓	白山社本殿	?	五泉市牧	村松	社殿	旧記帳	滅失	?
㉔	白山社拝殿	?	五泉市牧	村松	社殿	旧記帳	滅失	?
㉕	鶴森組後須田村名主（庄屋）・小林八十八家住宅	?	加茂市大字後須田	新発田	上層民家	旧記帳	滅失	?
㉖	本成寺地内の寺（1）	?	三条市西本成寺	朱印地	仏堂	旧記帳	不明	?
㉗	本成寺地内の寺（2）	?	三条市西本成寺	朱印地	仏堂	旧記帳	不明	?
㉘	本成寺地内の寺（3）	?	三条市西本成寺	朱印地	仏堂	旧記帳	不明	?

表1注：存否の別で並べ、それぞれ年代順に並べた。No.は、存否の別で色分けした。領分は、「越後蒲原一郡鹿絵図」による。「小黒左右衛門旧記帳」は「旧記帳」、「新潟県寺院名鑑」は「名鑑」、「新潟県寺院明細帳」は「明細帳」の略称をそれぞれ用いた。3章での検討対象である建築作品、および検討項目である〈船桧造〉は、太字とした。なお、①と⑯の上棟年には別の説があり、これらの検討は今後の課題である。

2. 建築活動

「小黒空右衛門旧記帳」^{注1)}、『村松町史』⁴⁾、『新潟県寺院名鑑』⁵⁾などから、現時点で28棟の建築作品を把握した(表1)。「越後蒲原一郡亀絵図」^{注2)}などの資料や現地調査により、地理的範囲を確認した(図1)。そのうち18棟の現存を確認し、現存建築については構造形式をまとめた。7棟は滅失しており、それ以外の3棟は不明であった。

2-1. 地理的範囲 村松領の13棟を中心に、白河領の1棟、白河藩預地で御料所の3棟、新発田領の3棟、新発田領継所村で御料所の桂家の1棟、村上領の笹川家の2棟、御朱印地の本成寺の4棟、高崎領の1棟であった(計28棟)。小藩分立の越後において、重命は村松藩のみならず、周辺の他領でも建築活動を行っていた。

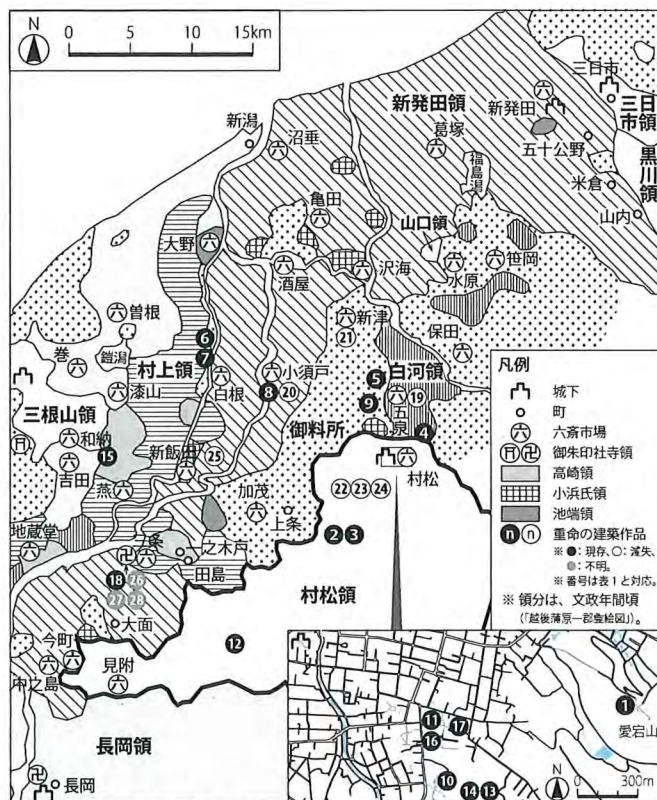
2-2. 建築類型 調査に基づき、建築類型^{注3)}(社殿、仏堂、民家等の別)を整理した。現存建築の実測図、および滅失した建物の指図に基づく復元図を作成し、平面図を集成した(図2,3)。宗教建築を中心とするが、他領の大庄屋(庄屋)・庄屋(名主)格の住宅^{注4)}、さらに寺院庫裡などの住居系の建物が6棟ある。ほか社殿11棟、仏堂9棟、門2棟がある。

3. 建築作品の特徴

現存建築を対象として、主要な特徴を検討した。旧笹川家住宅は、大庄屋の造りとして表座敷や居室部で船柵造とすることが知られる⁷⁾(図4)。重命による他の建築作品について概観すると、船柵造に類似する構法を持つ寺院本堂が散見する。力垂木状や登り梁状の部材で軒を支

持する例もあるが、本稿ではそれらを含め船柵造に類似する構法であると広義に捉え、〈船柵造〉と表記・検討する。

まずその例には、旧笹川家住宅とほぼ同時期で、大規模な専寺本堂(1827)が挙げられる(図5)。古文書によれば、



上層民家

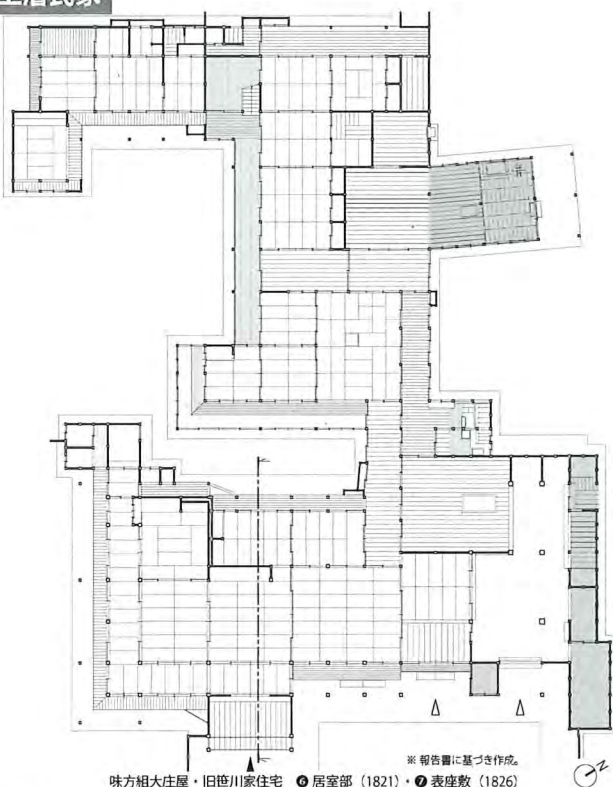
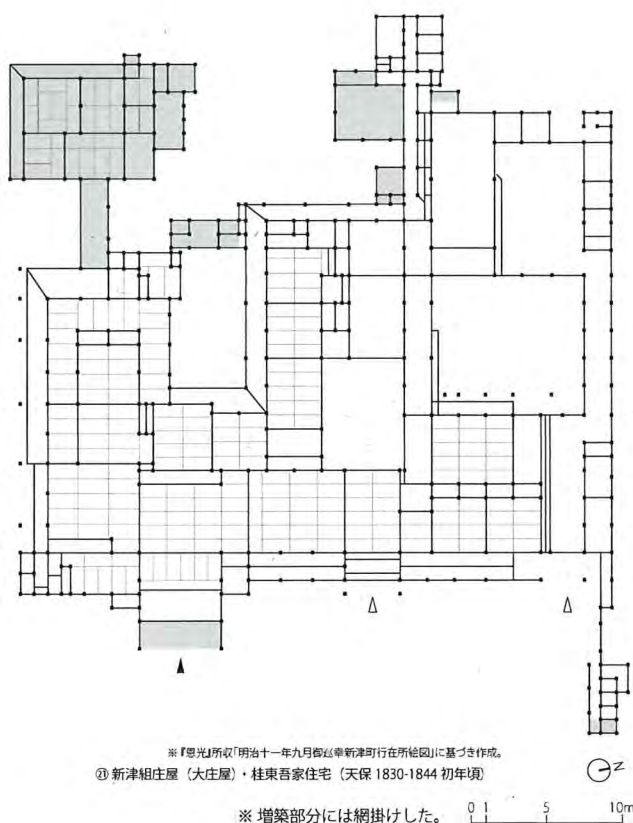
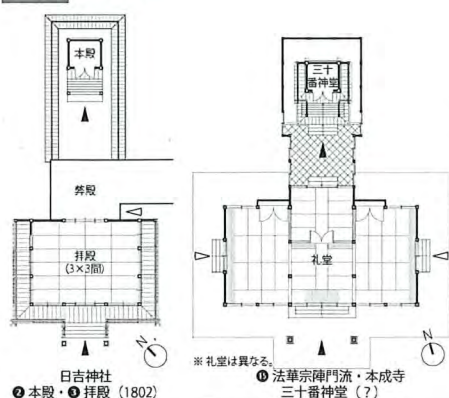


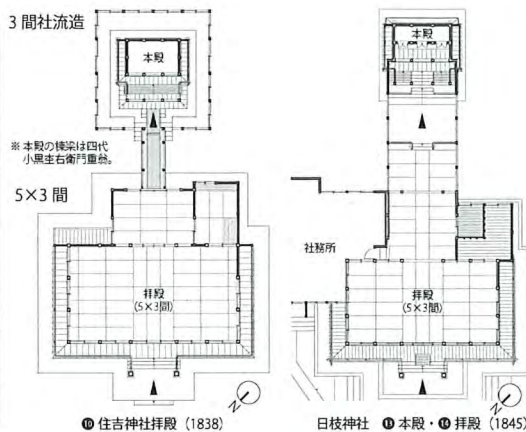
図2 重命の建築作品の平面図 (上層民家) S=1:500



社殿 1 間社流造



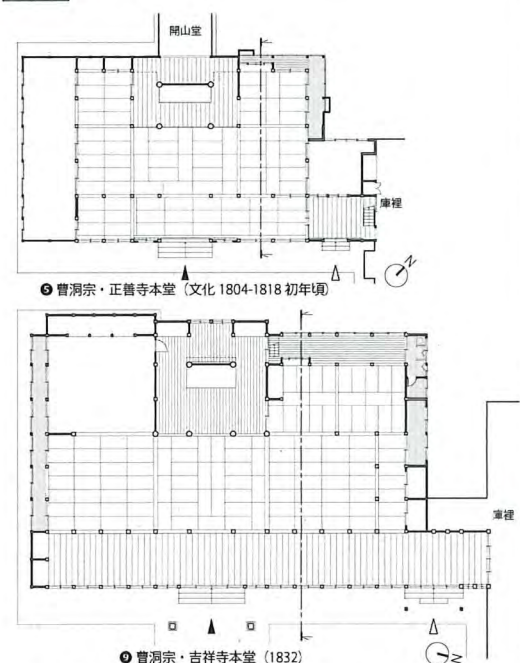
3 間社流造



その他



仏堂 曹洞宗



浄土真宗



門 四脚門

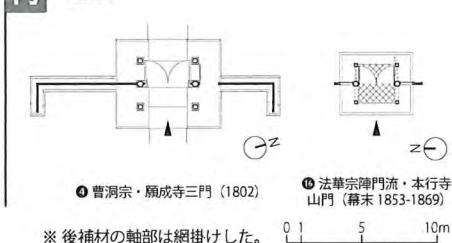
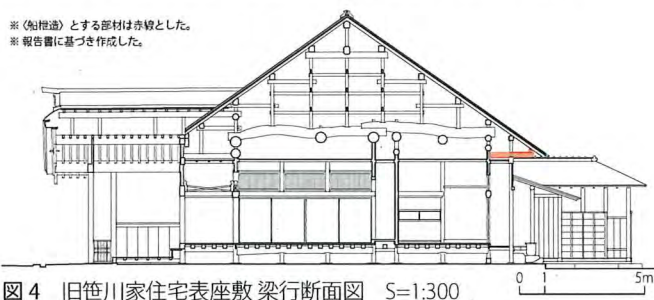


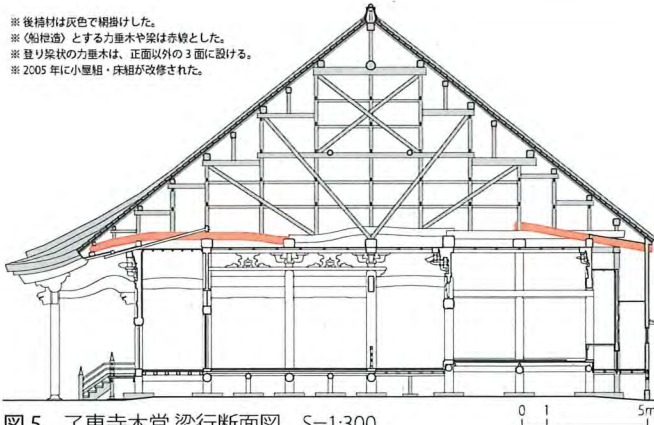
図3 重命の建築作品の平面図 (社殿・仏堂・門) S=1:500

※ 〈船柁造〉とする部材は赤線とした。
※ 報告書に基づき作成した。



当初は柿葺とされる^{注5)}。正面および側面の正面側1間は二軒繁垂木である。それ以外の3面は一軒と思われるが、正面側の木負・茅負がひと続きに巡るようだ。茅負まで伸びる登り梁状の力垂木を疎らに配置し、現状で木負・茅負間に軒天井を張る (写真1)。丸桁・木負間は、一部に旧軒天井板が残る。力垂木の鼻に茅負を置き、梃子の原理で軒を支持する点は、構造的に船柁造に類似すると思われる (写真2)。なお、正面側では小屋梁を片持梁状とし、側柱筋を

※ 後補材は灰色で網掛けした。
※ 〈船柁造〉とする力垂木や梁は赤線とした。
※ 登り梁状の力垂木は、正面以外の3面に設ける。
※ 2005年に小屋組・床組が改修された。



越えて外部に張り出し、その鼻で現状の鼻母屋を受ける。

次に、年代として了専寺本堂に次ぎ、大規模な吉祥寺本堂（1832）にも〈船柵造〉がみられる（図6）。この建物は、1989年以前は寄棟造で、旧茅葺の銅板仮葺であった。力垂木・登り梁状の地垂木を疎垂木とし、飛檐垂木を繁垂木とする（写真3）。側柱筋の軒桁・木負間に軒天井を張る。地垂木の鼻に出桁状の木負を置き、梃子の原理で軒を支持する点は、構造的に船柵造に類似すると思われる。正面および側面の正面側1間のみ、地垂木の鼻に絵様・線形を施し、装飾的にする（写真4）。了専寺本堂では、茅負まで伸びる力垂木を正面以外の面で配するが、吉祥寺本堂では力垂木・登り梁状の地垂木を全面に配する点で異なる。

さて、こういった構法は、大規模な寺院本堂に限らない。小規模であるが、真如寺本堂では出組の通肘木上から腕木を出し、船柵造とする（写真5）。正面および側面の正面側1間では、出桁の上からさらに垂木を出す。それ以外の3面では、正面側の出桁や茅負がひと続きに巡るようで、腕木を茅負まで長く伸ばし、垂木は置かず、軒天井を張る（写真6）。正面側の茅負は、側面・背面側に伸びて出桁となる。

以上のような、梃子の原理で軒を支持する構法は、重命の初期の建築作品と思われる正善寺本堂（文化年間1804～1818初年頃）にもみられる（図7）。側柱筋上の土居桁を支点として登り梁状の部材を置き、その尻を入側の柱間の中央で押さえ、鼻に出桁を置き、収首を支持する（写真7）。この部材は化粧として見せずに枯木のような役割を担い、構造的に上述の建築作品に類似すると思われる。

上記の5棟をみると、旧笹川家住宅以後の例では、〈船柵造〉の部材を化粧材として見せている。これらの構法は若干異なるものの、真如寺本堂を含め、いずれも構造的には船柵造に類似すると考える。特に、寺院本堂で正面側とそれ以外の面とで、一軒と二軒を併用する例（了専寺本堂）、疎垂木の地垂木と繁垂木の飛檐垂木を併用し二軒とする例（吉祥寺本堂）や、出組の上でさらに船柵造とする例（真如寺本堂）は珍しいと思われる。また、正面および側面の正面側1間で構法が変化する建築表現は、設計の中で正面性を重視したためと考える。これらは重命による複数の建築作品に散見する特徴で、作風のひとつと言えよう。

4. 結

本研究では、まず地理的範囲と建築類型からみた重命の建築活動を明らかにし、その一覧表を作成した。その上で、建築作品を〈船柵造〉の観点から捉え、特徴の一端を明らかにした。〈船柵造〉は、重命による複数の建築作品に散見することから、重命の作風のひとつと思われる。今後の課題として、他の歴代の小黒左衛門の建築作品や、周辺の同時代の類例建物との比較・検討を進めたい。

付記

本研究の一部は、2020年度日本建築学会北陸支部大会にて発表予定（投稿済み）である。

※ 後補材は灰色で網掛けした。
※ 〈船柵造〉とする登り梁状の地垂木は赤線とした。
※ 1989年に小屋組が改修された。

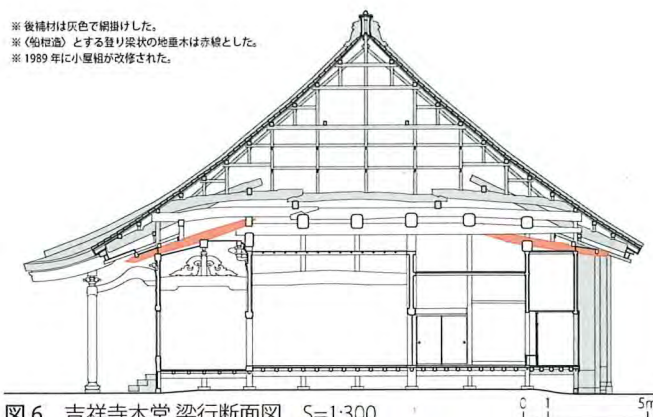


図6 吉祥寺本堂 梁行断面図 S=1:300



写真3 吉祥寺本堂 正面北側



写真4 吉祥寺本堂 南東側隅



写真5 真如寺本堂 正面東側



写真6 真如寺本堂 東側面北側

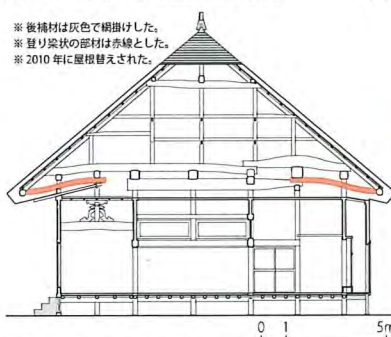


図7 正善寺本堂 梁行断面図 S=1:300



写真7 正善寺本堂 正面側
小屋組

注

- 注1) 個人所蔵「小黒左衛門旧日記帳」。「小黒左衛門八十二歳書 嘉永四年四月」とある。
- 注2) 新発田市立歴史図書館所蔵「越後蒲原一郡集絵図」(x01-1国1)。「文化二乙丑初冬赤浪組戸石村名主助之丞仕立之 同六年己巳年六月坂部甫作良蔵書 文政八乙酉初夏藤藤儀右衛門忠検写之」とある。
- 注3) 本稿では、建築類型（ビルディングタイプ）の分類において、神の占有空間を内包する建物およびその付属建物を社殿とした。
- 注4) 新発田藩では、他藩での組庄屋（大庄屋、村庄屋、村庄屋）を名主と呼んだ。
- 注5) 「小黒左衛門旧日記帳」に「小須戸町了専寺御堂破風造りこけら葺」とある。

参考文献

- 1) 「小黒左衛門先祖由来之事」『松韻 村松藩の遺文を読む』古文書倶楽部、2001
- 2) 目黒新悟、黒野弘靖「越後大工・小黒左衛門重命による禅宗寺院と旧笹川家住宅に共通する空間構成」『日本建築学会北陸支部研究報告集』(57)、pp.553-556、2014
- 3) 高橋恒夫「江戸期および明治期における越後の出雲崎大工とその活動に関する研究」平成8年度科学研究費補助金（基盤研究C）研究成果報告書、1997
- 4) 『村松町史』上巻、村松町教育委員会事務局、1983
- 5) 『新潟県寺院名鑑』新潟県寺院名鑑刊行会、1983
- 6) 小村一『幕藩制成立史の基礎的研究 越後国を中心として』吉川弘文館、1983
- 7) 『重要文化財世川家住宅修理工事報告書』新潟県教育委員会、1960
- 8) 目黒新悟、黒野弘靖「越後大工・小黒左衛門重命による桂馨正東吾家住宅と旧笹川家住宅に共通する外観の建築的特徴と空間構成」『日本建築学会北陸支部研究報告集』(61)、pp.369-372、2018
- 9) 目黒新悟、黒野弘靖「史料にみる新津組大庄屋桂家住宅の空間構成の変遷」『日本建築学会北陸支部研究報告集』(62)、pp.207-210、2019

研究課題：柱脚浮き上がりを許容した壁を含む架構の水平耐力の実験的検証

研究代表者：山田耕司

1. 序

伝統構法木造住宅では石場建てを用いることもある。石場建ては、基礎に柱を緊結しないため、その柱が耐力壁に付随している場合は、地震時などで柱に引っ張り力が生じ、柱脚が浮き上がる可能性がある。壁に付随した柱の柱脚が浮き上がれば、その壁の水平耐力が発揮されない。しかし、壁を含む構面全体での水平耐力を考えれば、壁耐力を十分に発揮させることも可能と考えられる。木造住宅を対象とした柱脚浮き上がりを検討した事例として文献¹⁾があるが、浮き上がり時の骨格曲線の提案まで至っていない。そこで前報⁴⁾では、柱脚浮き上がりを許容した場合の横架材を含めた架構での水平耐力の発現の有無を検討し、その際の必要横架材断面および土塗り壁の耐力特性の修正法を提案した。結果として、1層の架構で横架材断面の検討を行えば、その横架材断面を2層の架構へも適用可能であることが計算事例から得られた。そこで本報では、1/2縮小試験体により効果の確認を行う。実験は、平屋モデルおよび2層モデルを扱い、荷重－変形曲線の精度を検証対象とした。なお、本稿では紙面の都合上、実験概要および平屋モデルの実験結果の一部を報告する。

2. 実験概要

試験体は図1に示す1層もしくは2層の架構を1/2に縮小した試験体とする。試験パラメータとして、D, G点に作用させる抑え込み自重を既報を参考に2セット、梁背を2種類、採用する（計 $4 \times 4 = 16$ ケース）。加えて、比較用として柱脚固定試験体4体を用意する。耐力壁は合板大壁として、釘本数で耐力を制御し、実大の1/5程度の水平耐力とする。浮き上がりを発生する支点A, Bを除き、支点Cは金物で固定する。

柱はスギ90mm角、梁はスギ105および120mm角、壁は構造用合板大壁仕様とし耐力を釘N38の本数で調整した。実際の壁耐力は1P土塗り壁で5kN、2P土塗り壁で10kN程度を想定していた。しかし、安全対策の都合上自重相当分の錘を20%程度にせざるを得なかったため、実験用耐力壁の耐力は、1P相当で1kN、2P相当で2kN程度とした。釘本数は、枠組み壁工法の計算式を用いて計算し、1P相当壁で柱に釘4本・梁に釘2本、2P相当壁では柱に釘4本・梁に釘3本とした。

試験体一覧を表2に示す。ここで、柱頭、柱脚を固定する場合は、羽子板ボルトを使用している。柱・梁接合部は短ボゾとしている。ただし、長ボゾ込栓仕様では、カシ ϕ 15.4mmを用いている。含水率は、柱が13-14%、梁が8-13%であった。

計測は、水平荷重、1F水平変位、2F水平変位を主とし、付随的にA点鉛直変位、B点鉛直変位、柱軸力（2ゲージ法、柱真ん中、AD材、BE材、CF材、DG材、EH材、FI材）、モーメント（2ゲージ法、梁中央、EF材、HI材）を計測した。また、実験終了後に梁の単純支持1点集中荷重試験を行い、梁のヤング係数を求めた。この時の集中荷重は $P=0.392\text{kN}$ とした。曲げヤング係数推定値は、1P相当試験体スギ105mm角で 6764 N/mm^2 、同120mm角で 7432 N/mm^2 であり、2P相当試験体スギ105mm角で 7455 N/mm^2 、同120mm角で 4728 N/mm^2 、2F試験体胴差105角で 10419 N/mm^2 であった。

荷重装置は、T社製汎用静的荷重装置を用いた。荷重スケジュールは、1/200, 1/150, 1/100, 1/75, 1/50 radで1回正負繰り返し荷重を行った後、1/15radまでA点の柱脚が浮く方向に荷重した。

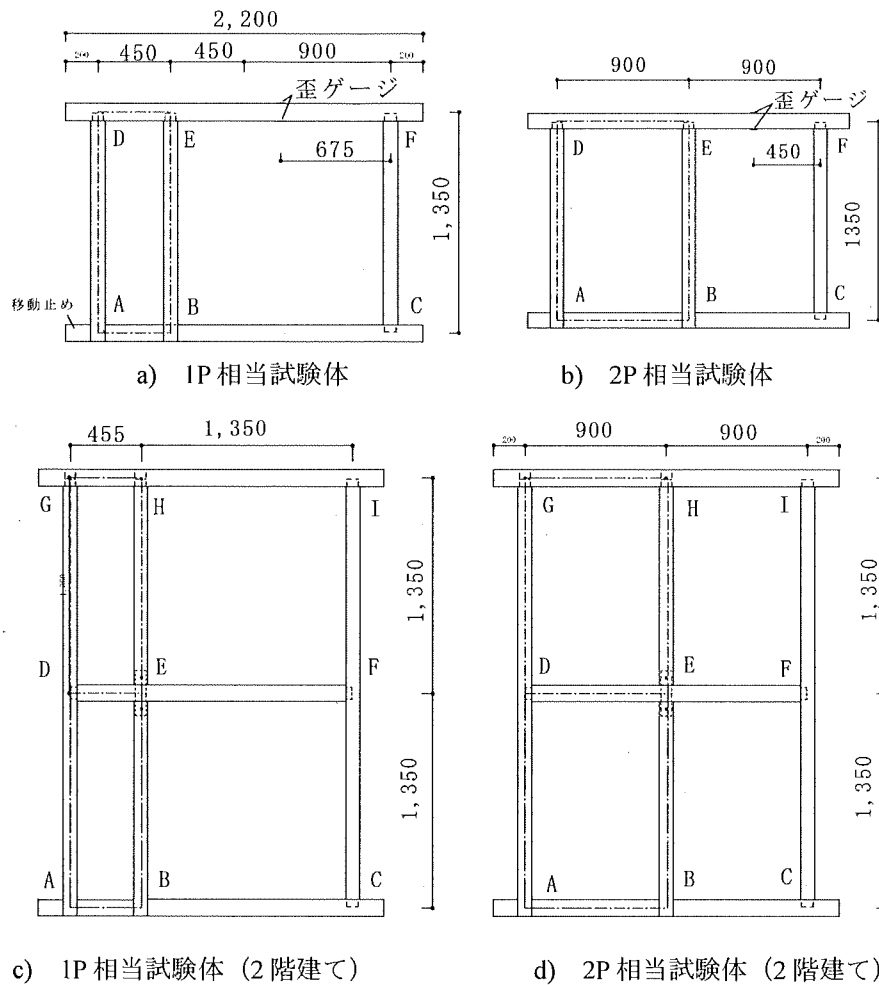


図1 実験対象とする架構

表2 試験体一覧

壁種類	階数	柱脚 AB	柱頭 DE	梁	自重	試験コード
1P	平屋	全ピン	未固定	梁小	無	1F1P105F
		未固定	未固定	梁小	自重 A 自重 B	1F1P105A 1F1P105B
		未固定	固定	梁小	自重 A 自重 B	1F1P105AF 1F1P105BF
		未固定	未固定	梁大	自重 A 自重 B	1F1P120A 1F1P120B
		未固定	固定	梁大	自重 A 自重 B	1F1P120AF 1F1P120BF
		未固定	固定	梁大	自重 A 自重 B	1F1P120AF 1F1P120BF
2P	平屋	全ピン	未固定	梁小	無	1F2P105F
		未固定	未固定	梁小	自重 A 自重 B	1F2P105A 1F2P105B
		未固定	固定	梁小	自重 A 自重 B	1F2P105AF 1F2P105BF
		未固定	未固定	梁大	自重 A 自重 B	1F2P120A 1F2P120B
		未固定	固定	梁大	自重 A 自重 B	1F2P120AF 1F2P120BF
		未固定	固定	梁大	自重 A 自重 B	1F2P120AF 1F2P120BF
1P	2 階建	未固定	長ホゾ込栓	梁小	自重 A	2F1P105AK
2P	2 階建	未固定	長ホゾ込栓	梁小	自重 A	2F2P105AK

表3 自重設定（錘個数：0.196kN/個）

壁種類	階数	自重	節点 D	節点 E	節点 G	節点 H
1P	平屋	自重 A	2	6	—	—
		自重 B	4	6	—	—
2P	平屋	自重 A	2	6	—	—
		自重 B	4	6	—	—
1P	2階建	自重 A	0	6	4	6
2P	2階建	自重 A	0	6	4	6

3. 結果・考察

本稿では紙面の都合上、1層 1P 相当試験体の実験結果のみ示す。まず、壁耐力を試験体 1F1P105F にて確認した。図 2 に層間変位と耐力の関係および層間変位と梁の曲げモーメントの関係を示す。図より耐力に降伏状態が見られない事、および、柱頭部を固定しないため、梁の曲げモーメントが微小であることが分かる。なお、図中の●は、後に変形を計算するための等価剛性計算点である。

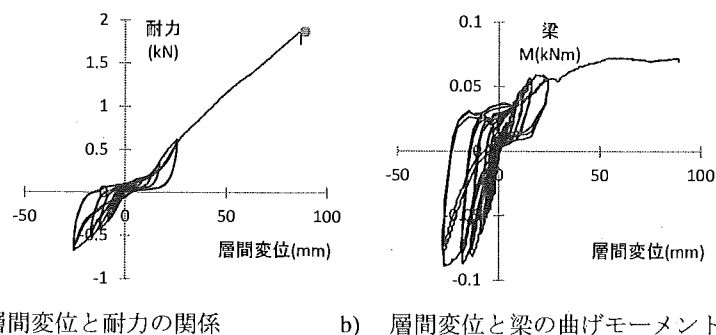


図2 層間変位と耐力の関係および層間変位と梁の曲げモーメントの関係（試験体1F1P105F）

次に柱脚浮き上がり時における自重の耐力への影響を柱頭を固定しない試験体 1F1P105A, 1F1P105B で比較する。図 3 に両試験体の層間変位—耐力関係および最終加力時の耐力差を示す。図中の耐力差予測値は、D 点に加えた錘の差 0.392kN に壁の長さとの高さの比 1/3 を乗じたものである。計算上は、試験体 1F1P105A は 0.131kN, 試験体 1F1P105B は 0.261kN, で浮き上がり始める。結果として、耐力差は一時的に予測値を超えるが、終局的に予測値に近似している。

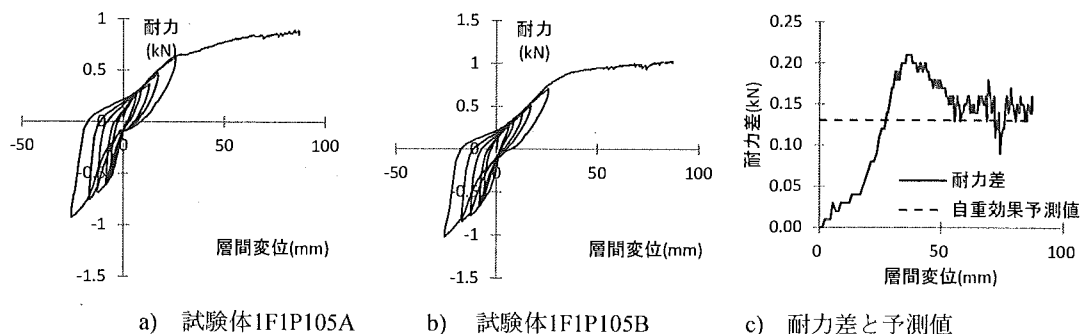
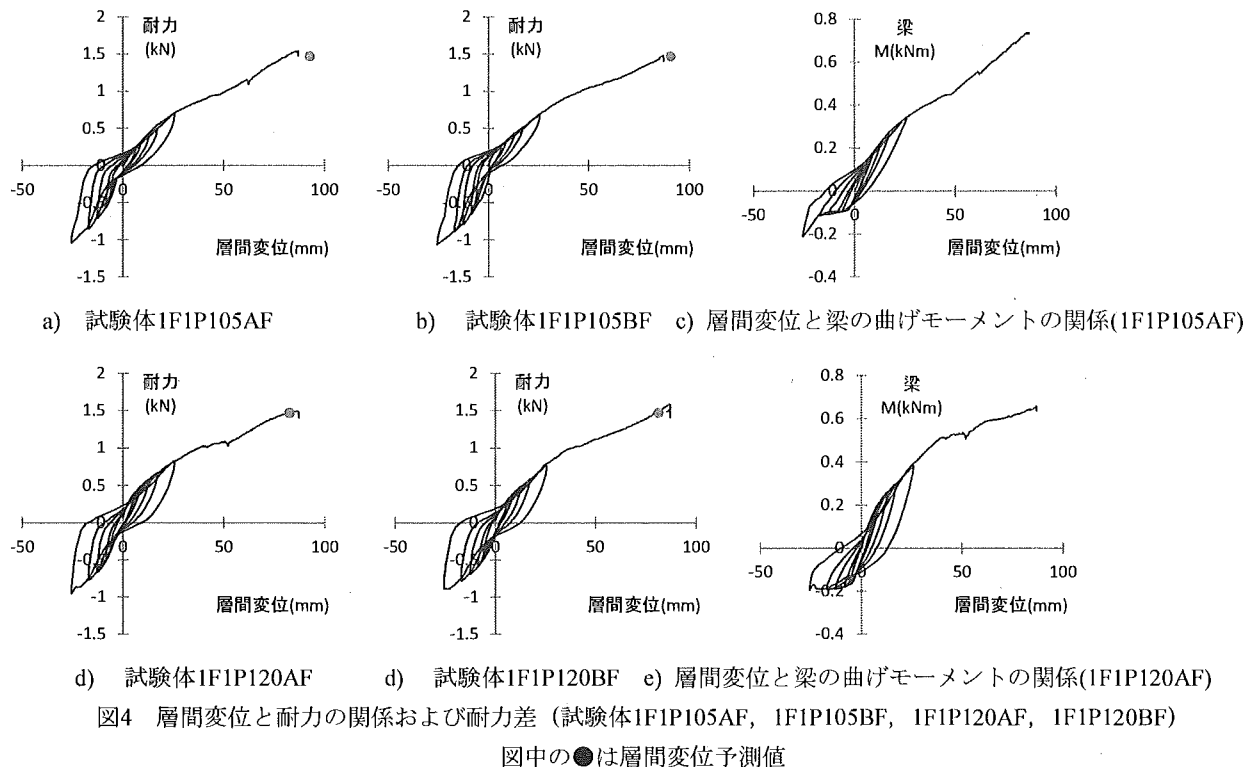


図3 層間変位と耐力の関係および耐力差（試験体1F1P105A, 1F1P105B）

次に層間変位—耐力関係とその予測法の妥当性を柱頭を固定した試験体 1F1P105AF, 1F1P105BF, 1F1P120AF, 1F1P120BF, で検討する。図 4 に各試験体の層間変位—耐力関係と耐力 1.47kN 次の層間変位予測値（●）を示す。層間変位予測法は既報 4)を用い、耐力壁の割線剛性は図 2 の点から計算した。図より既

報 4)の層間変位予測法は良い対応をしていることが分かる。また、梁の曲げモーメント最大値も 0.6-0.8 kNm あり、図 2 b)と比較しても、梁の曲げ戻しによる耐力が生じていることが分かる。



4. まとめ

本稿では、既報4)で提案した柱脚浮き上がりを許容した場合の土塗り壁の耐力特性の修正法を確認するため、1/2縮小試験体で実験を行った。結果として、壁耐力の骨格曲線から得た割線剛性と計測された横架材のヤング係数を用いて、既報4)の層間変位予測法は良い対応をしていることが分かった。

参考文献

- 1) 吉敷 祥一・窪田 裕幸・柳瀬 高仁・染井 健二・和田 章：柱脚の浮き上がりを許容することで心柱効果を期待したロッキング制御型木質耐力壁の振動台実験，日本建築学会構造系論文集 74(644), pp.1803-1812, 2009
- 2) 山田耕司・中治弘行・長瀬 正・鈴木祥之：伝統構法木造軸組における土塗り小壁の復元力評価法，歴史都市防災論文集 Vol.11, pp.95-102, 2017.7
- 3) 「伝統的構法の設計法作成及び性能検証実験検討委員会」：平成22年度 事業報告書，p.2-47, 2011. (http://green-arch.or.jp/dentoh/report_2011.html アクセス日2018.1.31)
- 4) 山田耕司：柱脚浮き上がりを許容した壁を含む架構の水平耐力，歴史都市防災論文集 Vol.12, pp.31-36, 2018.7