

2024年度（第9回）助成支給対象者

2026年8月28日現在

NO.	氏名	所属研究機関・職名	テーマ	ページ
1	アオキ テツ 青木 哲	岐阜工業高等専門学校 教授	寺院建築における冷房機器設置が室内環境に与える影響	1～4
2	アライ シゲユキ 新井 重行	東京大学 准教授	【継続】 江戸時代後期の大工組織の業務復元に関する基礎的研究	5～6
3	オオウエ ナオキ 大上 直樹	京都美術工芸大学 特任教授	中世禅宗様仏殿の平面寸法決定技法の解明	7～10
4	オガシワ ノリカ 小柏 典華	芝浦工業大学 准教授	椎尾山薬王院三重塔の建築史的価値評価および修理指針の検討	11～14
5	カジカワ ヒサミツ 梶川 久光	明治大学 教授	【継続】 寺院における大断面柱の相互緊結による制震デバイスの性能確認実験～セーフティ性能を付加した場合～	15～18
6	キタモリ アキヒサ 北守 顕久	大阪産業大学 准教授	近代洋風建築に用いられる木ずり下地塗り大壁の耐震性能	19～22
7	ストウ ミネ 須藤 美音	東京都市大学 准教授	日照の季節・時刻変化を考慮した茶室の採光手法と茶事における光・視環境の演出の関係	23～26
8	タキヤマ ノリコ 多幾山 法子	東京都立大学 准教授	土蔵造建物の大壁における壁土剥落メカニズムの解明と設計手法の提案	27～30
9	ツノダ マユミ 角田 真弓	東京大学大学院 技術専門職員	「中井家文書」と造営諸史料にみる寛政度御造営京都御所御台所の復元	31～34
10	マルチネス・アレハンドロ	京都工芸繊維大学 助教	【継続】 木造建築遺産におけるオーセンティシティに関する研究	35～38
11	ミヤモト ミツヒロ 宮本 慎宏	香川大学 教授	社寺建築物に用いられる継手を有する木造軸組架構の耐震性能評価法の構築	39～42
12	メグロ シンゴ 目黒 新悟	奈良文化財研究所 研究員	新潟県に所在するセガイ造仏堂の構法的特徴 —村松藩領の黒小一族が造営した建物を事例として	43～46

※50音順 ※原則、所属研究機関・職名は申込時を記載

寺院建築における冷房機器設置が室内環境に与える影響

(2024 年度 (第 9 回) 公益財団法人 松井角平記念財団 研究助成 研究概要報告)

岐阜工業高等専門学校 青木 哲

1. はじめに

寺院建築は、伝統的価値の保持と檀家・門徒の高齢化に伴う快適性向上の両立という課題に直面している。近年の酷暑に伴い、冷房設備の導入が進んでいるが、冷房の使用が寺院内の温熱環境や結露・カビなどの建物への影響に関する知見は十分ではない。

著者ら¹⁾は昨年度、岐阜県内の 4 寺院で実測調査を行い、冷房導入が WBGT 低減に有効であること、扉閉鎖による CO₂ 濃度の一時的な上昇は見られたものの基準値内であること、および小屋裏の夏型結露リスクについて報告した。ただし、冷房未設置の寺院が比較的涼しい地域に立地していたため、冷房の有無による比較検討に課題が残った。

そこで本研究では、昨年度調査の一部寺院を高温地域の寺院に変更し、冷房設備の有無による室内環境および暑熱リスクの差異を、実測データに基づき検討することを目的とした。

2. 研究方法

岐阜県内の浄土真宗寺院 4 カ所を対象とした。昨年度の継続調査となる「冷房あり」の B 寺・C 寺 (C 寺は今年度新設) に加え、より高温な地域に位置する「冷房なし」の E 寺・F 寺を選定した。寺院の概要を表 1 に示す。図 1 は冷房の設置例である。測定は、冷房期 (7 月下旬～9 月中旬) の長期測定と、行事日前後の短期測定の 2 種類を実施した。長期測定では、外陣の温湿度および二酸化炭素濃度を小型温湿度計 (TandD 社 TR-72U)、CO₂ 濃度計を用いて 10 分間隔で測定した。また、冷房ありの寺院では小屋裏にも温湿度計を設置して結露リスクの検討資料とした。短期測定では、定例行事日の前後数日間にわたり、熱電対を用いた上下温度分

表 1 調査対象寺院の概要

名称	B寺	C寺	E寺	F寺
所在地	岐阜県岐阜市	岐阜県垂井町	岐阜県美濃加茂市	愛知県稲沢市
建築年	2023	2019	2005	1928
エアコンの有無	有	有 (昨年:無)	無	無
冷房能力	7.1kW×2台	10kW×2台	—	—
間口×奥行	7間×8間	7間×7間	7間×6間	7間×7間
断熱材	壁:フェノールフォーム20mm 天井:グラスウール100mm	床:スタイロ畳 (スタイロフォーム25mm)	—	—
床	畳	畳	畳	畳



図 1 冷房 (エアコン) の設置例

布および暑さ指数を WBGT 計 (AandD 社、AD-5695DLB) で追加測定し、行事時における参拝者滞在時の熱中症リスクと快適性を評価した。ただし、冷房なし 2 寺院に対する事前の聞き取りでは、測定期間中に定例行事がないとのことであったため、短期測定は実施しなかった。

3. 研究結果と考察

3-1. 長期温度変動

測定期間中の外陣温度について、全寺院で測定期間が重なる 8 月 1 日～9 月 19 日を対象に、期間平均値を表 2 に示す。表 2 には、最寄り AMeDAS に基づく外気温の日平均・日最高・日最低・日較差の平均値と、外陣温度の日平均・日最高・日最低・日較差の平均値を示している。表 2 より、外気温はいずれの寺院においても

表2 外気および外陣の温熱特性(期間平均)

(期間平均)	B寺	C寺	E寺	F寺
日平均外気温 (°C)	29.9	28.1	28.9	29.2
日最高外気温 (°C)	35.5	34.1	35.0	35.4
日最低外気温 (°C)	25.8	24.0	24.3	24.7
日較差 (°C)	9.7	10.1	10.7	10.7
日平均外陣温度 (°C)	29.4	30.7	31.5	31.4
日最高外陣温度 (°C)	31.1	32.4	33.0	33.4
日最低外陣温度 (°C)	26.6	28.0	30.0	29.6
日較差 (°C)	4.5	4.4	3.0	3.7

概ね近い値を示しているのに対し、外陣温度では、最低外陣温度にやや差がみられた。

これらの外陣温度の時間変動を、冷房あり・なし別に図2、3に示す。両図より、冷房の有無にかかわらず、日周期の温度変動が認められ、外気温の変動に対応したものと考えられる。一方、冷房ありの寺院(図2)では、短時間ではあるが急激な温度低下がみられる日があり、お勤めや行事時における冷房使用の影響と推察された。また、B寺では全体的に他寺院よりも室温が低い傾向がみられた。表2に示す外陣温度の日較差に着目すると、冷房ありの寺院(B寺、C寺)では、冷房なしの寺院(E寺、F寺)に比べて値が大きく、図1にみられる短時間の温度低下の影響と考えられる。

3-2. 長期CO₂濃度変動

外陣のCO₂濃度の時間変動を、冷房あり・なし別に図4、図5に示す。図4より、冷房ありのB寺、C寺では、平常時は概ね400~500ppm程度で推移する一方、特定の時間帯に一時的な濃度上昇が確認された。B寺では800ppm前後まで、C寺で1000ppmを超える日も確認され、これらは、行事時かつ冷房使用時に冷却効果を高める目的で開口部を閉鎖し、換気量が一時的に低下した影響が大きいと考えられる。

一方、冷房なしのE寺・F寺(図5)では、測定期間を通して外気レベルに近い400~500ppm程度で安定して推移し、顕著な濃度上昇はほとんどみられなかった。この要因として、未使用であったか、通風のために障子戸や扉を開放した運用により、自然換気が確保されていたと推察される。

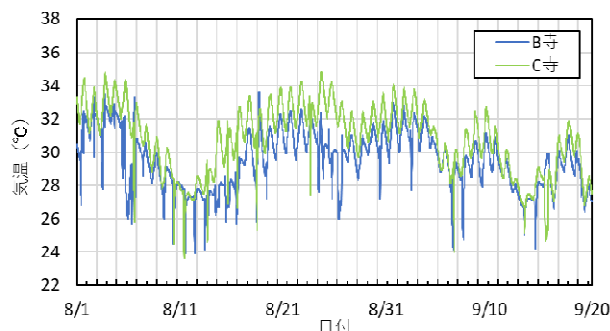


図2 外陣の温度変動(冷房あり)

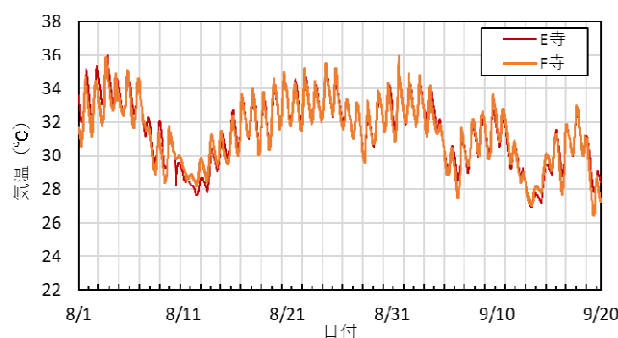


図3 外陣の温度変動(冷房なし)

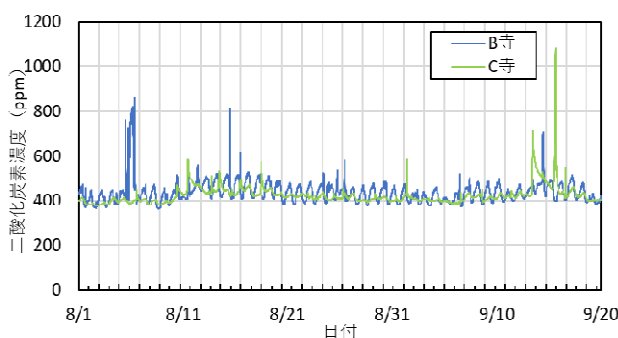


図4 外陣のCO₂濃度変動(冷房あり)

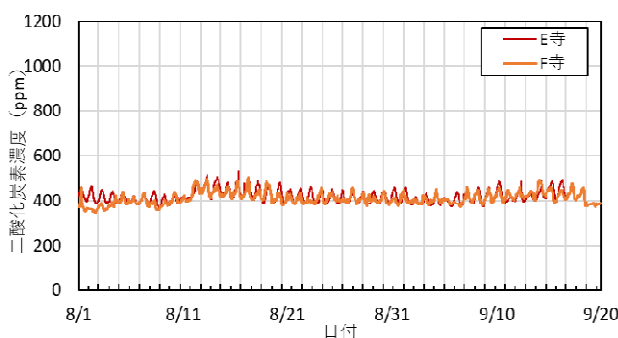


図5 外陣のCO₂濃度変動(冷房なし)

3-3. 短期測定・WBGT変動

表3に、各寺院の行事日、行事時間および参加人数を示す。冷房ありの寺院については、事前の聞き取り調査により、定例的に行われている行事を短期測定の対象とした。冷房なしの寺

院（E 寺、F 寺）については、実際には法要が実施されていたことが後に判明したため、表中に含めた。図 6～図 9 に、各寺院の行事日 1 日を抽出し、外気温、WBGT、温度変動を示し、熱中症予防指針と比較した²⁾。なお、冷房なしの寺院では WBGT の直接測定を行っていないため、外気温と室温のみを示し、外気温のみを用いた指標³⁾を用いて参考評価した(図 8、9)。

図 6 より B 寺では、聞き取りでは 10:30 からの冷房使用とのことであったが、9 時前から温度低下が始まっており、その頃から使用されていたと考えられる。28℃あった外陣温度は、1 時間半程度で 26℃前後まで低下した。行事中の WBGT は 22℃前後であり、熱中症の危険性は低いと考えられた。12:30 の冷房停止後、室温および WBGT の上昇は外気温の上昇に対して小さく、窓開け換気を行っていなかったことに加えて、断熱性が高い影響が推察された。

図 7 より C 寺では、行事の始まる前の 9 時過ぎから冷房の使用を始めており、行事時間中の 14 時には、外気温は 34℃近くまで上昇しているものの、外陣温度は 26℃を下回り、WBGT も 20℃前後とかなり低い値となっていた。

図 8 より、E 寺では、朝 7:30 頃に窓開けが行われており、その後の外陣温度は外気温の上昇に対して比較的緩やかに推移している。行事は 10:30 から 11:30 頃の実施されていたが、この時間帯において外陣温度は「警戒」域を上回ることなく、外気温も比較的低かったことから、暑熱リスクは高くなかったと考えられる。ただし、外気温が高い条件下では、窓開けのみでは十分な暑熱対策とならない可能性が示唆される。

図 9 より、F 寺での行事は 6 時～9 時頃にかけて実施されており、通常、朝から本堂裏側の開口部が開放され、15 時頃まで通風を確保しているとのことであった。外陣温度は、外気温の上昇に対して緩やかに推移しており、行事時間帯において「警戒」域と「嚴重警戒」域の境目付近であった。これは、早朝の時間帯に行事が行われていたことに加え、室内よりも低温の外

表 3 各寺院における行事等の概要

寺院名	B寺	C寺	E寺	F寺
行事日時	8月15日	9月15日	8月10、11日	7月29日～8月2日
行事時間	11:00～11:30	14:00～16:00	10:30～11:30	6:00～9:00
参加人数	約40人	約30人	約10人	約5人
冷房稼働時間	10:30～12:00	10:00～16:00	—	—



図 6 B 寺における行事時の WBGT 等の変化 (8/15)

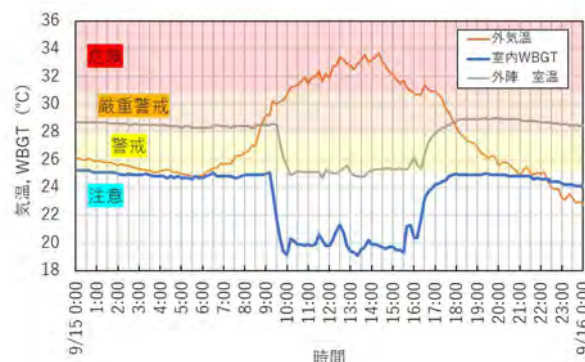


図 7 C 寺における行事時の WBGT 等の変化 (9/15)

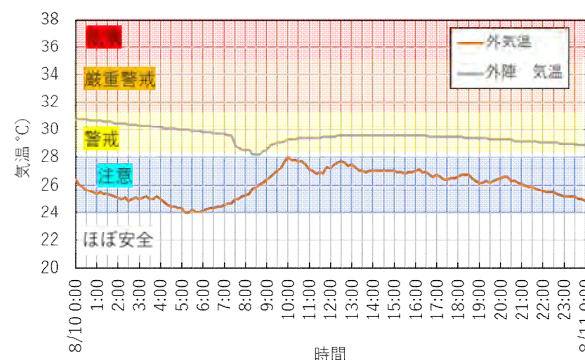


図 8 E 寺における行事時の外陣温度の変化 (8/10)

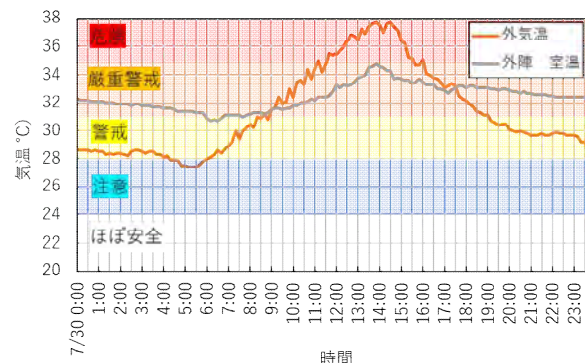


図 9 F 寺における行事時の外陣温度の変化 (7/30)

気を取り入れた通風効果によるものと考えられる。ただし、14 時頃には「危険」域付近まで達しており、同様の対応のみでは十分な暑熱対策とならない可能性が示唆された。

3-4. 小屋裏の結露リスク

冷房の稼働により室内温度が低下すると、夏型結露が発生する可能性がある。本研究では、天井表面温度が外陣側と同程度まで低下すると仮定し、小屋裏側の天井近傍温湿度から算出した露点温度との比較により結露リスクを評価した。B 寺・C 寺の行事前後 2 日間に 20 分間隔で測定した小屋裏側温度と露点温度の関係を図 10 に示す。B 寺では、行事日（8/15）に露点温度を一時的に下回る傾向がみられた。一方、C 寺では、露点温度を下回ることにはなかったものの、行事日（9/15）に結露リスクが高まる傾向がみられた。B 寺で結露リスクが大きくなった要因として、小屋裏温度の上昇に伴い、飽和水蒸気圧の増大が影響していたと考えられる。

3-5. 行事時の温度と CO₂ 濃度変動

図 11 に、行事日 1 日の外陣温度および CO₂ 濃度の時間変動を、冷房ありの B 寺と、なしの F 寺について示す。B 寺では、11 時～11 時 30 分の行事時間に冷房が使用され、外陣温度は低下した。一方、同時時間帯に CO₂ 濃度は約 800ppm まで上昇した。これは、在室人数の増加に加え、冷房使用に伴い開口部が閉鎖され、換気量が低下したためと考えられる。なお、内陣側に換気設備があるものの、外陣全体への影響は限定的と推察された。

一方、F 寺では 6 時～9 時に行事が行われ、外陣温度は 31℃程度で推移した。CO₂ 濃度は 6:30 頃にやや上昇したが、500ppm を上回ることにはなかった。参加人数が少なく、通風も確保されていたことが要因と考えられる。

以上より、冷房使用は温熱環境の改善に有効である一方、開口部閉鎖による換気量低減が CO₂ 濃度上昇につながる可能性が示された。寺院における快適性確保には、温熱環境改善と換気量確保の両立が重要である。

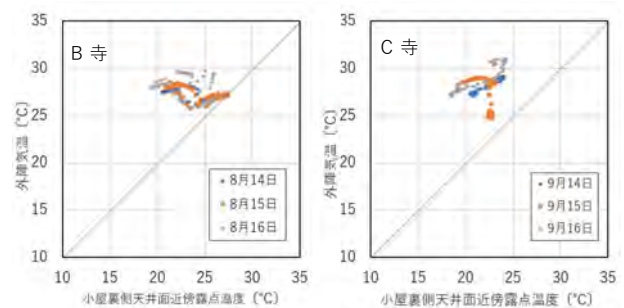


図 10 冷房使用による結露リスクの検討

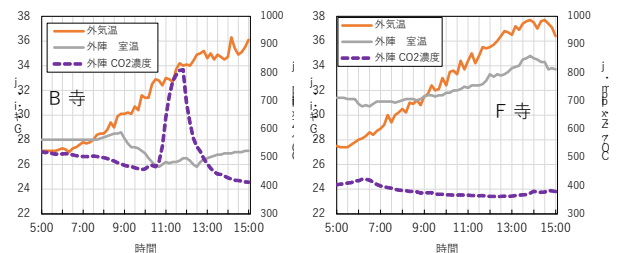


図 11 行事日の外陣の温度・CO₂ 濃度時間変動

4. まとめ

本研究では、岐阜・愛知県内の 4 寺院を対象に、夏季の室内温熱・空気環境の実測調査を行い、冷房機器設置の有無による影響を検討した。冷房使用により外陣温度および WBGT は低下し、暑熱リスクの軽減に有効であることが確認された。一方、冷房使用時には開口部の閉鎖に伴い CO₂ 濃度が一時的に上昇する傾向がみられた。また、小屋裏の結露リスクは限定的であった。以上より、寺院においては温熱環境の改善と換気確保を両立させる運用が重要であることが示された。

参考文献

- 1) 増田空我, 青木哲: 寺院建築への空調設備設置が室内環境と快適性に及ぼす影響—夏季における岐阜県内 4 寺院の実測調査—, 空気調和・衛生工学会中部支部学術研究発表会論文集, Vol.26, pp. 53-56, 2025.3
- 2) 日本生気象学会: 日常生活における熱中症予防指針 Ver.4, 2022
- 3) 公益財団法人日本スポーツ協会: スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブック, 2019

謝辞

本研究にご協力いただいた 4 寺院の住職様をはじめ、関係者の皆さまに心より御礼申し上げます。また、調査にご同行頂き、ご協力とご助言を賜りました亀山建設株式会社の皆さまに、深く感謝申し上げます。また本研究の一部は公益財団法人松井角平記念財団の助成を受けて実施した。

「江戸時代後期の大工組織の業務復元に関する基礎的研究」研究実績報告書

新井 重行（東京大学史料編纂所・准教授）

本研究は、江戸時代の内裏造営事業を検討するための史料を中心に調査を行い、建具や調度といったあまり注目されてこなかった分野にも目を配りつつ、歴史学の立場から建築史に資する基礎研究を行い、協業の幅を広げることを目的とするものである。

○研究の経過

(1) 関係史料の調査・収集

京都府立京都学・歴彩館、京都市立歴史資料館などの所蔵機関において、関係史料の遺存状況を把握することを主たる目的として調査を行った。

歴彩館では、「船屋太兵衛家文書」等の史料について、史料の全体把握のための悉皆的な調査を行い、京都御所造営や御所の調度品に関する必要な史料については写真複製を購入した。とくに船屋太兵衛家は、御所造営の際に建具などの調達を担当した大工家であり、御所の建具等に関する詳細な帳簿類が複数残存していることを確認した。今後これらの検討を継続することで、新たな視点を提供してくれるものと期待される。

京都市歴史資料館では、「上野伊三郎家文書」・「田中家文書」などの大工家の旧蔵文書について調査を行った。上野家は江戸時代より大工を営んでおり、御所造営に関する文書を含む。近年、同館に寄贈されて整理が済んだばかりのものであり、全体を把握するための調査を行った。

また宮内庁書陵部所蔵史料についても調査を行い、「平田家本」（平田家は蔵人所出納を代々務め、朝廷の調度品の管理を担当した）のうち「御調度新調並御修復一会」（514-99）ほか朝廷の調度品に関わる史料画像を収集した。

(2) 史料の分析・検討

①大工組織の業務把握、②朝廷・幕府と大工組織の関係、の二つの視点を設定し、関係史料の分析および翻刻文の作成を行った。

宮内庁書陵部所蔵の中井家文書のうち（ア）「中宮御殿御造立仙洞御所御修復小屋場会所日記（文化13年）」（「京都御所造営関係文書」E2-112-673）および、京都府立京都学・歴彩館所蔵（イ）「本途帳」（富田屋文書 館古026-47、3冊）について、大学院生の協力を得つつ、定期的に会読を行い内容の検討を進めた。

このほか、書陵部所蔵（ウ）「安政造内裡坪取御間数等諸式寄帳」（210-115）、（エ）「安政新造内裡諸備忘」（210-109）、東京大学史料編纂所所蔵（オ）「御造営御用雑誌」（徳大寺家本-18-20）についても並行して翻刻作業を行った。

(ア) は、「小屋場会所」(建設現場事務所のような役割)の業務日誌で、日々の文書処理や、幕府と朝廷のあいだの調整の様子が記録されている。これまでにあまり検討のなされていない、内裏造営事業における幕府と朝廷の関係について、詳細な情報を与えてくれるものといえる。

(イ) の「本途帳」とは、積算や監査のために諸々の値段を定めた帳簿であり、この中には資材の値段だけでなく、単位面積あたりの職人の工賃なども含まれる。本書は、京都の大工が安永 7 年(1778)に作成した種々の本途帳を合冊したものであり、建築工事の積算過程の検討の参考となるだけでなく、分業のあり方、部材名とその構造、当時の価値などが窺われるもので、建築史だけでなく、多くの分野に益する情報である。

(ウ)・(エ) は、寛政の内裏造営に関わった野宮定功が、業務の参考とするために、寛政の内裏造営に関する記録・帳簿 7 種をもとにまとめ直したものであり、従来知られていなかった寛政造営に関する史料を含んでいる。

(オ) は、徳大寺公純による御造営御用掛としての業務日誌である。

なお、上記の成果として『内裏造営関係基礎史料集 2』(東京大学史料編纂所研究成果報告 2025-1)、『内裏造営関係基礎史料集 3』(東京大学史料編纂所研究成果報告 2026-2)を発行した。前者には、(ウ)・(エ)の翻刻文を、後者には(イ)の一部の翻刻文を収める。

(3) 遺存建物の調査

史料の検討と同時に、泉涌寺における建造物の調査も行った。泉涌寺の御座所・小方丈等は、明治 15 年の火災のち、同 17 年にかけて再建されたもので、これまでの研究によって御所の御里御殿・対屋の部材が転用されたことが推定されている。これについて、宮内庁宮内公文書館に再建工事の公文書類が所蔵されていることから、その内容の分析、および現地における建物の調査を行った。公文書からは御里御殿・対屋の部材や石材を転用したことが史料によって裏付けられるほか、仕様書や日誌類の検討から、業者の入札方法、再建の施工手順、実際の工事の進捗などを知ることができた。検討を続けることにより、明治期の造営事業のあり方と、江戸時代のあり方とを比較することも可能になると思われる。

○まとめ

本研究では、江戸時代の内裏造営事業に関わる史料について、これまで検討されたことのない史料に着目して、収集・検討を行った。このような作業は、歴史学からは、江戸時代の造営組織の実務処理を担当し、朝廷を下支えする中・下級貴族を社会的に位置づけることにつながる視点である。また建築史からは、造営事業における大工組織把握のあり方や、技術の継承という視点につながると考える。

また本研究の成果として、いくつかの史料を翻刻し、紹介することができた。しかしながら、内裏造営を担当した大工組織を相対化して研究するためには、さらに多くの視点からの調査・検討が必要であり、残された課題は多い。

中世禅宗様仏殿の平面寸法決定技法の解明

ELUCIDATION OF THE TECHNIQUES FOR DETERMINING THE FLOOR PLANS OF MEDIEVAL ZEN BUDDHIST STYLE TEMPLE HALL.

大上 直樹*
Naoki OOUE

Keywords : Plan dimensions, Zen Buddhist style temple hall, frontage, proportions

キーワード：平面寸法，禅宗様仏殿，表の間，比例

一 これまでの禅宗様三間仏殿の平面寸法決定法

本研究は、これまで曖昧であった三間堂（禅宗様のみならず和様も含む）の平面寸法の決定法が、「枝割制」によるのではなく、「柱間按分法」であり、それによって、全ての遺構を決定することが出来ること、また同時に「脇間整数比差法」によって、柱の断面寸法も定められることを、遺構をとおして検証するものである。

三間堂のうち、禅宗様仏殿全般に関するこれまでの研究は、関口欣也博士の一連の論考があるが、平面寸法の決定法については、本人も認めているように、「禅宗様建築の柱割法の分類と年代的推移は総観されるに至っていない。」という状況で、一応の結論として完数制、比例そして枝割制の三つを適宜組合せたものとし、近世になると「アイタ」（脇間：中央間：脇間＝2：3：2）に収束していくとした。関口の論考は、個別の仏殿について、現状の柱間寸法の一部を説明したが、必ずしも普遍的な技法を明らかにしたものとは言えないものであった。

二 三間堂の平面寸法と柱断面寸法の決定法

三間堂は禅宗様、和様ともに基本的には同じ方法つまり、「柱間按分法」で決定されたと考えられる。その平面の設計技法について以下に説明しよう。

三間堂の平面寸法と柱断面の設計の基本的な流れ Fig.1

- ① 「表の間」（総間）の決定：まず、建物の正面間口である「表の間」を裏目完数で決定する。これが建物の基本の寸法である。ただし、三間堂の場合、「表の間」の真々長さではなく、ヲゼ（外法）が基本とするのが基本である。また少数であるが、ダキ（内法）を取る場合もある。裏目尺を使うのはこの時だけである。
- ② 柱割一：「表の間」を中央間、脇間をどのような整数比にとるかを定めて按分する。その比例はいく通りあるが、原理は非常に簡単で、まず整数比を全て合算した値で均等に割り、中央間、脇間の

順に各比率を取っていく。ただし、ここでは「表の間」のヲゼ（外法）乃至ダキ（内法）をとっているため、この段階で決まるのは、中央間の柱真だけであり脇間の柱真は決まらない。側柱については外面が押さえられているだけである。

③ 柱割二：中央間と脇間真々の比を定め、中央間の比率を基準に脇間の柱真を整数比で定める。

④ 柱断面寸法の決定：はじめに定めた「表の間」端部と③で定めた端柱々真の差が柱の半径となる。それを二倍すると柱径が定まる。その柱を各柱真に配するのである。これを「脇間整数比差法」と呼ぶこととする。

⑤ 垂木割：扇垂木の場合は柱割とは関係なく自由に軒規矩を定めればよい。平行垂木の場合は、垂木の枝数を柱割の整数比のn（整数）倍するのである。その値は2～4程度である。これを基本型と呼ぶ。ここで柱真々の比と垂木数の比が同じであるから一枝寸法は全て同じ値になる。

また、一枝寸法を柱割の比とは関係のない垂木数に定めれば、中央間と脇間の一枝寸法は異なる値になる。これを枝数型と呼ぶこととする。なお、扇垂木の場合もあるため、Fig.1では、この垂木割については省略した。

「柱間按分法」と「脇間整数比差法」を、数式で表現すると以下のとおりとなる。Fig.2

「表の間」の柱真々の関係は、脇間（真々）：中央間（真々）：脇間（真々）

$$B : A : B \quad \cdots \cdots \quad ①$$

「表の間」の柱外法の関係は、脇間（ヲゼー真）：中央間（真々）：脇間（真 - ヲゼ）

$$Y : X : Y \quad \cdots \cdots \quad ②$$

A、B、X、Yはすべて比率である。また、実際の長さにおいては、AとXは中央間柱真々であり同じ長さとなる。

脇間において、②式と①式の差が柱断面寸法になる（片側で柱半分×2）。

* 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

そこで、中央間真々の A と X は同じ寸法であるので、共通化して脇間の外法寸法と真々寸法を差し引くことで、柱の断面寸法が求められる。ここで、柱の断面寸法の「表の間」に対する比率を R0、中央間に対する比率を R1 とすると、以下のように表すことができる。

「表の間」に対する柱断面寸法の比率 R0 は、

$$R0 = 2(BX - AY) / X(A + 2B)$$

中央間に対する柱断面寸法の比率 R1 は、

$$R1 = 2(BX - AY) / AX$$

また、実際の R0 及び R1 の値のパターンの範囲は、以下のよう
にまとめることができる。

$$R0 = 0.051 \sim 0.025$$

$$R1 = 0.132 \sim 0.060$$

特に、中央間に対する柱断面寸法の比率 R1 は、0.10 前後の値に

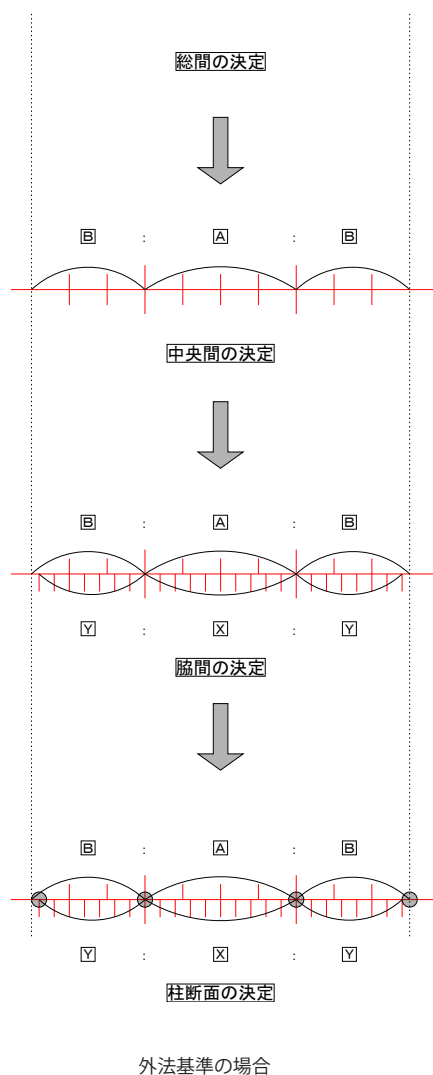


Fig.1 三間堂における柱間按分法と脇間整数比差法の作図の流れ

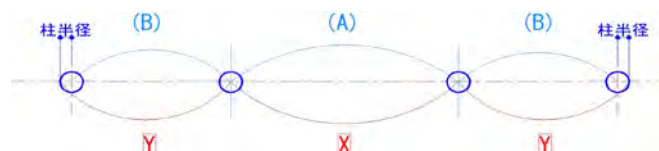
なる場合がほとんどで、木割書でいうところの大間に「寸数え」や「一寸一分数え」に該当する。

こうした三間仏殿における「表の間」と柱断面寸法の間を整理したもののが、Table.1(紙幅の関係で梗概では省略)である。また、それに該当する禅宗様仏殿遺構をまとめたものが、Fig.2(同前)である(三間裳腰も含む)。

三 事例検証 1 禅宗様仏殿

実際の禅宗様仏殿遺構 6 棟の検証事例を次頁に掲げる。

本篇では、37 棟の検討結果を掲げた。



$$\begin{array}{ccccc} B & : & A & : & B \\ Y & : & X & : & Y \end{array}$$

$$\text{柱径/総間真々 (R0)} \quad \frac{2(BX - AY)}{X(A + 2B)} \quad (3)$$

$$\text{柱径/中央間真々 (R1)} \quad \frac{2(BX - AY)}{AX} \quad (4)$$

* A：中央間真々、B：脇間真々

X：中央間真々、Y：中央間柱真～端柱外法(ヲゼ)

…ヲゼ真と呼ぶ

** A、B 及び X、Y は相互の比率の値である。実長では A と X は同じ値となる

Fig.2 柱間按分法の概念説明図

常徳寺円通殿 室町時代中期 応永 8 年 (1401)

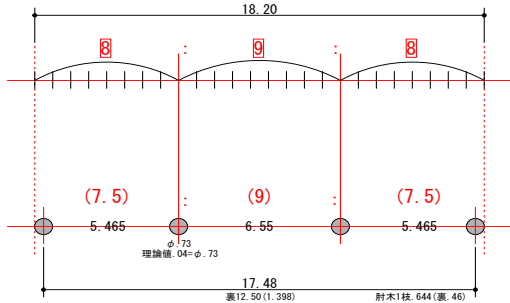
表の間 裏目 12.50(1.40)

外法 8 : 9 : 8

真々 7.5 : 8 : 7.5

$R0 = 0.042$

$R1 = 0.111$



善光寺薬師堂 室町時代後期 文明 15 年 (1483)

表の間 裏目 13.50(1.41)

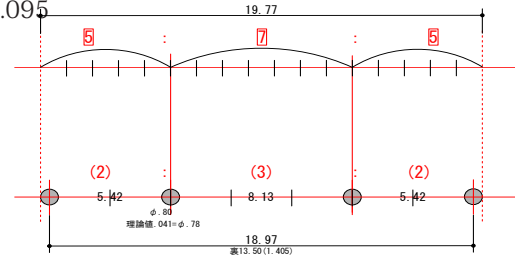
外法 5 : 7 : 5

真々 2 : 3 : 2

垂木割 扇垂木

$R0 = 0.041$

$R1 = 0.095$



西願寺阿弥陀堂 室町時代後期 明応 4 年 (1495)

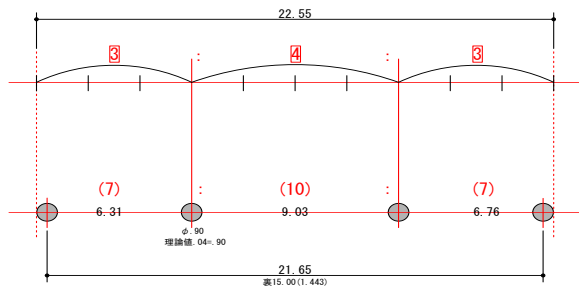
表の間 裏目 16.00(1.44)

外法 3 : 4 : 3

真々 7 : 10 : 7

$R0 = 0.042$

$R1 = 0.100$



正福寺地藏堂 室町時代中期

表の間 裏目 13.50(1.44)

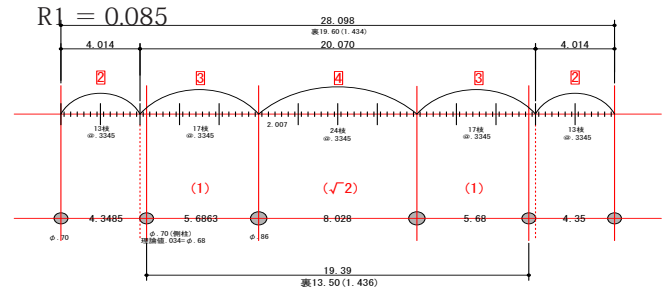
外法 3 : 4 : 3

真々 1 : $\sqrt{2}$: 1

垂木割 扇垂木

$R0 = 0.035$

$R1 = 0.085$



円通寺本堂 室町時代後期 天文 (-1554)

表の間 裏目 16.50(1.41)

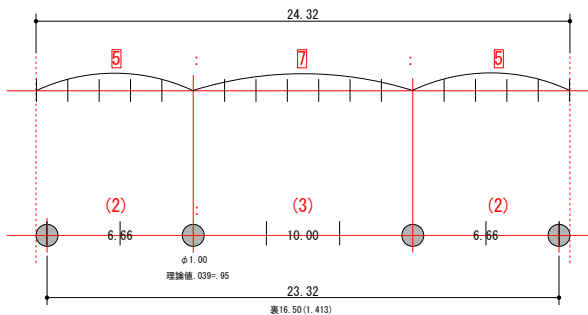
外法 5 : 7 : 5

真々 2 : 3 : 2

垂木割 扇垂木

$R0 = 0.041$

$R1 = 0.095$



功山寺仏殿 鎌倉時代後期 元応 2 年 (1320)

表の間 裏目 19.00(1.44)

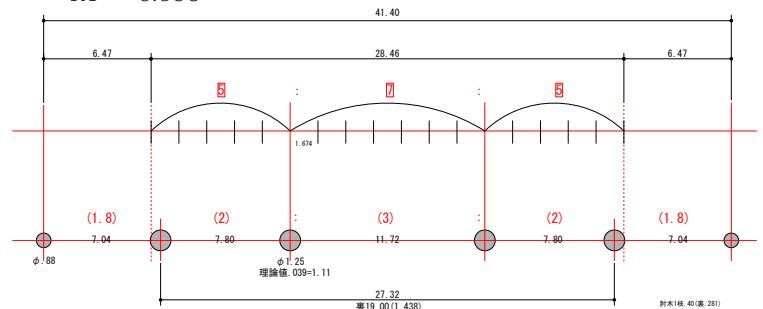
外法 5 : 7 : 5

真々 2 : 3 : 2

垂木割 扇垂木

$R0 = 0.041$

$R1 = 0.095$



四 事例検証 2 和様仏堂

検証事例は 1 棟下記に示す。本篇では 8 棟の検証結果を掲げた。

浄光寺薬師堂 室町時代中期 応永 15 年 1408

表の間 裏目 18.00(1.44) フゼ (外法)

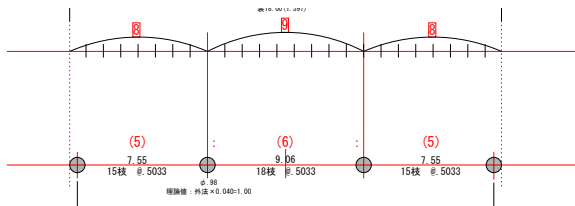
外法 8 : 9 : 8

真々 5 : 6 : 5

垂木割 平行垂木 疎垂木

$R0 = 0.040$

$R1 = 0.111$



五 結 語

これまで、禅宗様仏殿の平面寸法の決定技法については、比例、完数、枝割制、アイタなどの説があり、個別に説明はできても他の遺構には応用ができなかったり、部分的な説明でしかなく、全ての遺構を、統一的に説明できる技法については未だ存在しなかった。

本稿において、「枝割制」に代わる平面寸法決定技法として、「柱間按分法」を述べたが、中世を中心に近世初頭も含めて、禅宗様仏殿だけでなく三間和様仏堂も同様の方法によって説明できることを示した。三間堂の平面寸法が、ひとつの理論「柱間按分法」で決定され、柱の断面寸法は「脇間整数比差法」で決定されていることを指摘することが出来たのである。複雑で何度も補正を必要とする「枝割制」の助けを借りずに仏堂の平面寸法を説明できるのである。

三間の禅宗様仏殿と和様仏堂の平面寸法決定法の要点を以下の様にまとめる。

① 禅宗様仏殿・和様仏堂は、「表の間」を裏目完数値 (尺または 5 寸単位) で定め、それを整数比で按分することで、中央間の柱間寸法と脇間の端柱の外側を定める。

さらに、中央間を基準に、整数比によって脇間の柱真を決定するのである。この時中央間と脇間の柱真の比を、2 : 3 : 2 にして端柱真を決めれば、所謂「アイタ」となる。「アイタ」の事例は、確かに多く、近世に増加するが、様々な比のうちのひとつの事例に過ぎず、中世全般に確認できるのである。

禅宗様仏殿では、どの建物も詰組を中央間に二組、脇間に一組を配するため、「アイタ」がもっとも整備された印象を受ける。そのため、詰組がすべて等間隔になる江戸時代には主流となり、特にこの比を「アイタ」と称したものと推察されるが、この比率は 14 世紀初頭には、すでに確認できるのである (清白寺仏殿が最も古い)。

② 柱の断面寸法は、「脇間整数比差法」によって決定される。

「表の間」を比で按分して定めた中央間柱真と、中央間を基準に比で定めた脇間外法寸法の差が柱の半径となる。それを二倍して断面寸法が決定される。これを、「脇間整数比差法」と呼ぶ。中央間と脇間の柱真に比例関係があるだけでなく、中央間柱真と脇間外法寸法にも整数比の関係が存在するのである。

例えば柱真々が 2 : 3 : 2 (アイタ) の場合、脇間柱間寸法を定めるに、以下の 3 種類が確認できていて、その時の断面寸法の中央間に対する比 $R1$ を、() 内に記し、代表的な遺構も列記しておく。同じ「アイタ」であっても、この比が異なれば、柱の断面寸法が異なってくる。

6.5 : 9 : 6.5 ($R1 = 0.11$)

永保寺開山堂、清白寺仏殿 (裳腰付き)

5 : 7 : 5 ($R1 = 0.10$)

円通寺本堂、功山寺仏殿 (裳腰付き)

$\sqrt{2}/2 : 1 : \sqrt{2}/2$ ($R1 = 0.8$)

塩沢寺地藏堂

この内、5 : 7 : 5 とするものが最も遺構数が多い。

その他、代表的な遺構を示すと、

円覚寺舍利殿 真々 3 : 4 : 3 外法 4 : 5 : 4 ($R1 = 0.10$)

正福寺地藏堂 真々 $1 : \sqrt{2} : 1$ 外法 3 : 4 : 3 ($R1 = 0.085$)

③ 柱の断面寸法の決定法の「脇間整数比差法」の結果から、「表の間」と柱断面寸法の比 $R0$ を求めると、最大は 0.048 であり、最小は 0.024 と 2 倍の開きがあることがわかる。この内、最も遺構の多いものは 0.039 である。こうした傾向は時代的な差異はないことから、通常言われている時代が古い方が木割が太いなどという表現は、平面寸法を基準にした比率からみれば、意味のないことであろう。木割が太い、細いというのはあくまで、柱自体の細長比の大小の影響が大きい。

④ 近世木割書では、柱径は中央間ないし脇間を基準に一寸数えや一寸分数数えなどが一般的である。今回検討した結果をみても、中央間に対する柱断面寸法の比 $R1$ は 0.132 から、0.060 までの二倍以上の開きはあるが、最も遺構の多いものでは 0.095 など 0.10 前後にほとんどが集中している。0.095 もほとんど 0.1 である。そうした経験が、近世木割書の寸数えなど、より簡素な方法の成立に影響を与えたのではないかと推察される。

⑤ 経蔵や一部の遺構では、柱の断面寸法の決定においては、「表の間」の外法寸法ではなく、内法寸法を使用していたと考えられるものがある

⑥ 和様で角柱のものは、内法寸法を使用して決定されていた可能性がある。

⑦ 柱径の決定においては、柱外面や内法ではなく、長押を加えた面を基準に決定された可能性があるものもある (大聖寺不動堂)。

1. はじめに

研究対象とする椎尾山薬王院（以下、薬王院とする）は、茨城県桜川市真壁町の筑波山中腹に所在する、天台宗の古刹である（図1）。境内には三重塔（茨城県指定文化財、宝永元年（1704））、本堂（桜川市指定文化財、延宝8年（1680））（図2・床下の墨書より建設年代を確認）、仁王門（桜川市指定文化財、貞享5年（1688））、山王社（明治2年（1869）再建）や社務所が立ち並ぶ。近世天台宗の初期伽藍が現存する点でも貴重な遺構であるが、その境内伽藍の三重塔や本堂、仁王門などの建設に、常陸（茨城県）の工匠である桜井瀬左衛門が関わっていることが、墨書から確認できる。

桜井瀬左衛門は、国内の重要文化財指定の木造塔で、千葉県成田市成田に所在する成田山新勝寺三重塔（正徳2年（1712））の設計に携わった工匠として、著名である。

椎尾山薬王院三重塔内部の墨書には「常州那珂郡羽黒村 桜井瀬左衛門 同国同郡 次棟梁 中野左五兵衛 同国茨城郡笠間 藤田孫平次 下総国武射郡堺村 伊藤金右衛門 江戸〇〇住彫物師 無関門鉄」とある。すなわち、椎尾山薬王院三重塔と新勝寺三重塔は、共通の棟梁である桜井瀬左衛門による作品であることが指摘できる。また、椎尾山薬王院本堂内宮殿の作者（本堂自体は桜井一門によるもの）と、新勝寺三重塔の工匠の1人に茨城郡笠間の藤田孫平次の名も確認できる。これらは、桜井一門と藤田一門の共作に関する検討を可能とする貴重な遺構であると推定できる。

以上より本研究では、本堂と三重塔について、次の2点を明らかにすることを目的とした。

- ①薬王院本堂の文化財価値の向上を目的とし、薬王院本堂の建築的・文化史的価値を示す。
- ②現存する木造塔のうち、重要文化財指定の木造塔と比較できる貴重性から、同一設計者による設計基準の究明を行う。

2. 薬王院本堂の文化財価値についての検討

2-1 薬王院本堂の構成

薬王院本堂は、桁行5間、梁間5間、正面向拝1間付、入母屋造、鉄板葺で、平面は梁間前方2間を外陣、梁間後方3間を内陣とする。内外陣境は格子戸や舞良戸で厳格に区切る密教仏堂の形式を踏襲し、内陣は母屋部と下屋部に区切られる。母屋部の内陣須弥壇は禅宗形式をとり、その上には、宝暦4年（1754）に大工棟梁藤田孫平次により建設された宮殿が安置される。軸部は、床上部を全て丸柱とし、床下は八角形のままとする近世的手法を持つ。

2-2 小屋組の改築状況

小屋組は、当初の和小屋組の上部にトラスを組み、現在の屋根形式とする（図3,4）。

まず小屋組最下段の梁・桁・桔木は、松材を用いた当初材が残る。その上に、側柱の軸線上にある当初材の桔木の上に枕材を置き、トラスを組む土台とする（図3緑部分）。トラスは中央の真束部分で約 4.65m とし、棟高を確保している。また軒先の荷重を支えるために、トラスの間を縫うように新たな桔木（皮付きの松材）を挿入することで、現在の軒先がつくられている。トラス架構となる昭和 39 年（1964）の修理以前は、寄棟造、茅葺の屋根形式であったことが古写真からわかる（所有者所蔵古写真）。

2-3 本堂内陣の改築状況

内陣中央の柱間を確認すると（図5）、柱上部に改造痕が確認できる。頭貫下の内法貫は撤去のうえ柱に埋木、頭貫と内法貫の間には線状の埋木が施される。内法貫の埋木の直下には、差し肘木の痕跡も確認でき、来迎柱周辺の当初形式の復原検討が可能といえる。また来迎柱の柱頭部に描かれる金欄卷の彩色が、各埋木の痕跡手前までで終わることから、何かし



図1 本堂外観

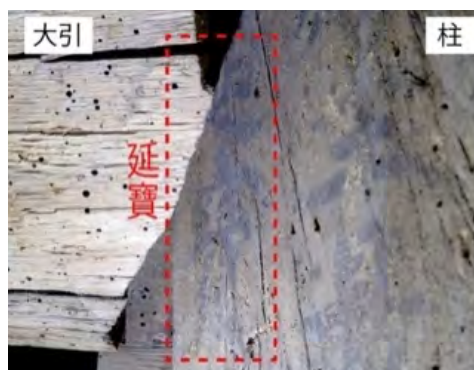


図2 本堂床下 墨書

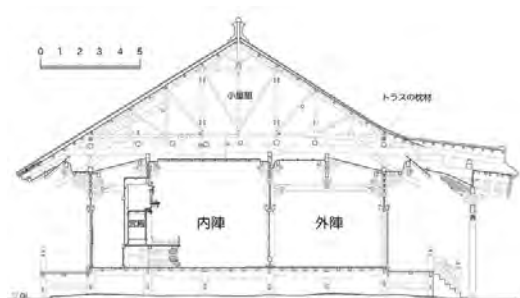


図3 梁間断面図

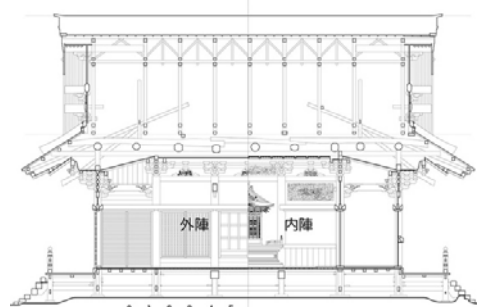


図4 桁行断面図

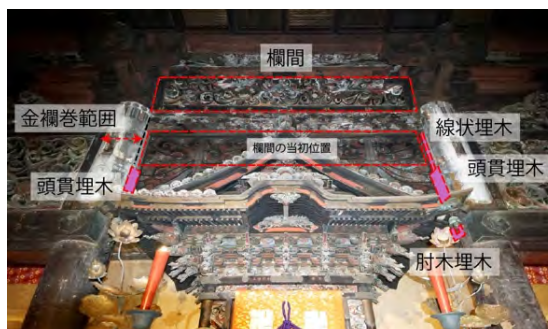


図5 内陣宮殿上部



図6 内陣来迎柱脇の寄進銘

らの柱間装置が入っていたと考えられる。

現在、頭貫の上には扁額状の欄間が飾られている（中央上部）。欄間の成、幅の寸法を確認すると、元は内法貫と頭貫の間に収まる仕様であったことが確認できた。

つまり、延宝8年に本堂を建設後、宝暦4年に新たに宮殿が作成されたことで来迎柱周辺の改築が必要となり、差し肘木・欄間・内法貫をいずれも撤去、さらに宮殿の周辺に合わせて装飾パネルの追加がなされたと推定した。

2-4 本堂内および宮殿に記載される寄進銘

薬王院では、本堂内の部材および宮殿の部材に直接寄進銘が描かれているのが特徴的である。外陣頭貫に示されるのは、墓股の寄進者であろう「真壁」の「高橋忠衛門」を示す金泥の文字、内陣の内法長押・欄間・墓股・巻斗などの寄進者の地域と名前（図6）、その総数、本堂外陣に28名、内陣に14名、宮殿には38名分と至る所に寄進銘が記される。

3. 薬王院三重塔の文化財価値についての検討

新勝寺三重塔の文化財評価をみると、「三重塔は柱、長押、台輪等に地紋彫を施し、板軒の全面に雲文を彫り、各所に彫刻を付け、さらに全面に彩色を施した華麗な塔で、装飾過剰ともいえる建物の早い例である。」（文化財指定説明の抜粋）と価値評価がされている。

つまり、桜井一門による木造塔の設計手法の検討はまだ検討の余地があるといえる。

3-1 薬王院三重塔の調査成果

本助成研究による実地調査の結果（図22）、『重要文化財新勝寺三重塔修理工事報告書』に記載される薬王院三重塔の枝数および枝割と同様の結果が得られた。そのため、今回は、報告書に記載される下記の表を用いた（図23）。

なお両三重塔は、心柱に杉材、小屋の部材に松材を用いる点、側柱・組物に檜材など、用材において類似性が見出せる。

3-2 平面の寸法体系

薬王院三重塔は岩瀬社寺建築作成の図面、新勝寺三重塔は『重要文化財新勝寺三重塔修理工事報告書』に記載の寸法をそれぞれ参照した。両者の図面を比較すると、新勝寺三重塔が1支5寸5厘に対し、薬王院三重塔は1.07倍大きく1支5寸4分で設計されていることがわかる。また各層もそれぞれ全体的に1.07倍の大きさであり、枝数にも変化はない。つまりほぼ同じバランスで木造塔全体が逡減していることがわかる。

さらに支数の逡減具合で全国の国指定三重塔全56件を確認すると、初層と二層目の支数を維持したまま中央間のみ逡減させる事例は、新勝寺三重塔・薬王院三重塔の他に、奈良県の百済寺三重塔、京都府の金剛院塔婆（三重塔）、栃木県益子町の西明寺三重塔の3件のみであることがわかった。特に、中央間を3支分一気に逡減させるのは金剛院塔婆（三重塔）のみであり、今後、その設計手法に関して薬王院三重塔などとの共通点の検討を進めていく。

3-3 立面の寸法体系

高さ関係については、平面のプロポーシオンとはやや異なることが下記の通り明らかに

なった。

【新勝寺三重塔】総高：24.955m、棟高：17.862m、相輪（露盤から上部）：7.09m

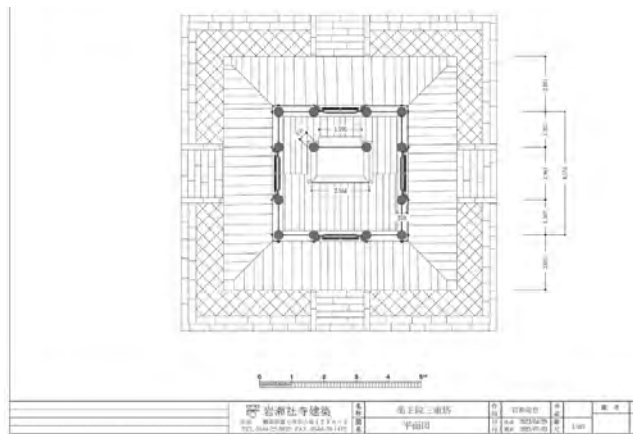
【薬王院三重塔】総高：26.477m、棟高：18.75m、相輪（露盤から上部）：7.73m。

薬王院三重塔は、新勝寺三重塔に対して、総高は 1.06 倍、棟高は 1.05 倍、相輪（露盤から上部）は 1.09 倍と、少しずつ異なるポロポジションが採用されている。

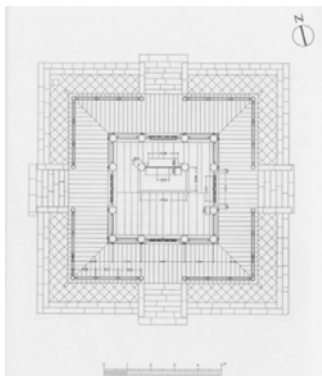
つまり、平面の枝割に対する設計基準と異なる考え方が、高さ方向の寸法体系に現れていることが示された。特に相輪部分には 1.1 倍近い差異が確認できた。

4. おわりに

椎尾山薬王院本堂・三重塔の实地調査を通して、次の新たな知見を得た。①本堂の小屋組・内陣の改築歴と、寄進銘の散布状況を示したことで、中世以来の密教仏堂の形態の踏襲と、近世的表現手法を一体化させ現在まで良好に維持されていることが、その文化財価値として高く評価できる。②同一設計者による現存する三重塔と比較をすると、成田山新勝寺の平面设计手法と酷似するものの、高さ方向にはやや異なる設計手法が用いられていることを示した。また脇間の支数を維持しつつ中央間を一気に逡減させる手法は、全国的にみても稀な設計技法であることの指摘ができた。



薬王院三重塔初層平面図（岩瀬社寺建築作成）



新勝寺三重塔初層平面図（『重要文化財新勝寺三重塔修理工事報告書』）

		脇間			中央間			総間	
初重	新勝寺	8支	4尺4分	12支	6尺6分	28支	14尺1寸4分		
	薬王院		4尺3寸2分		6尺4寸8分		15尺1寸2分		
二重	新勝寺	8支	4尺4分	9支	4尺5寸4分5厘	25支	12尺6寸2分5厘		
	薬王院		4尺3寸2分		4尺8寸6分		13尺5寸		
三重	新勝寺	7支	3尺5寸3分5厘	8支	4尺4分	22支	11尺1寸1分		
	薬王院		3尺7寸8分		4尺3寸2分		11尺8寸8分		

※ 1 支寸法は新勝寺 5 寸 5 厘、薬王院 5 寸 4 分。

三重塔比較枝数（『重要文化財新勝寺三重塔修理工事報告書』）

1 はじめに

寺院建築は耐震性能が非常に低い傾向にあり、このような寺院に対し、なるべく間取りを変更せずに耐力及び剛性の向上に寄与し、加えて減衰性能の向上も期待できる効果的な耐震補強を実現する手法が急務であると考えた。

そこで、我々は、耐震補強にて現行法で設計可能な範囲まで構造性能を引き上げることを目指し、制震デバイス補強の開発を進めている。今年度は、本機構にセーフティ機構を付加することを提案する。以下に、今回の研究目的を示す。

- ・ 制震デバイス補強に、フレームによる塑性もしくはフレーム接合部の回転変形によるセーフティ機構を持たせ、その構造性能を水平加振実験により明らかにする。
- ・ 制振デバイス補強の力学モデルを提案し、実験値を分解することで各モードの割合とセーフティ機構の有無を明らかにする。

なお、本実験の一部は 2024 年度松井角平記助成として実施した。

2 寺院建築の構造概要

寺院建築の構造概要の例として、アイソメ図を図 1 に、Y3 通りの例を図 2 に示す。寺院建築の構造的特徴には次のようなものがある。主な水平耐力要素は土塗壁や木ずり壁といった耐力壁及び貫構造であり、図 2 に示すように壁量が少なく、偏心している。また、屋根が大きく、瓦や葺き土を用いている。さらに、束石及び亀腹の上に柱や束が載っているのみで、柱脚が地面に緊結されていない。これらの特徴により、寺院建築の耐震性能は低い傾向にある。

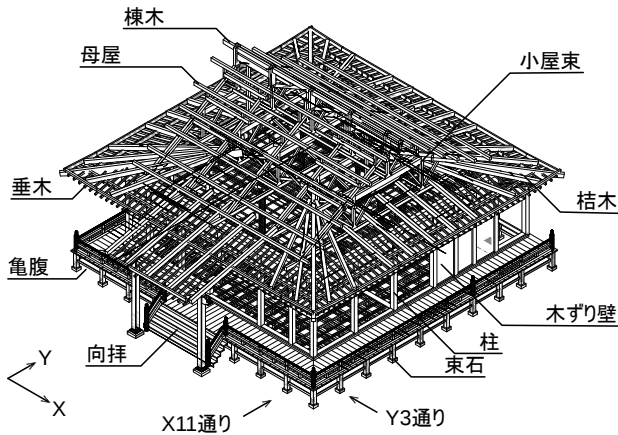


図 1: 寺院建築の構造概要の例（アイソメ図）

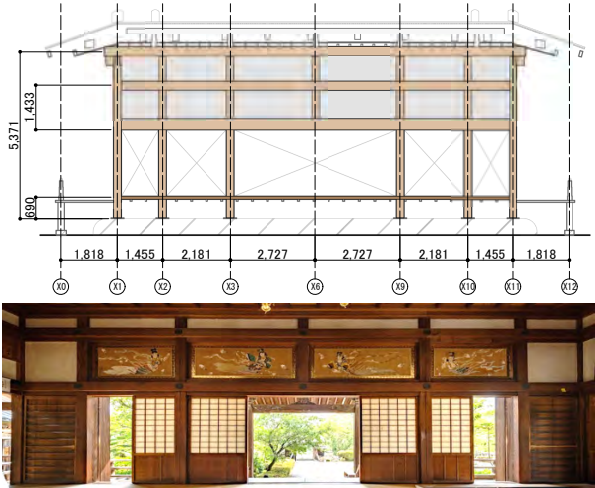


図 2: 軸組図及びイメージ写真 (Y3 通り)

3 制震デバイス補強の概要

制震デバイスの設置イメージ及び概要図を図 3 及び図 4 に示す。制震デバイス補強は柱の相互間を制震デバイスで緊結することにより、建物の耐力、剛性、靱性、減衰性能を向上させる補強技術である。また、制震デバイスは変形拡大機

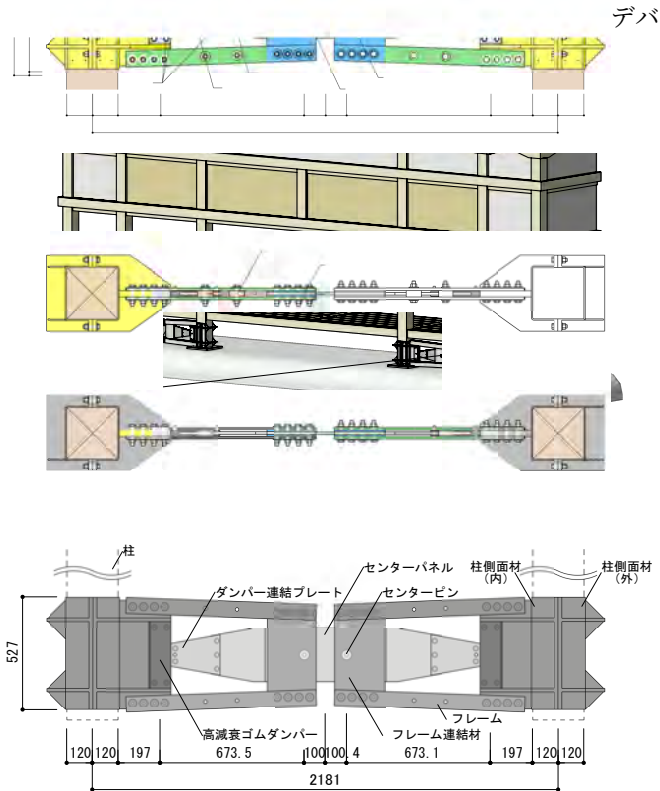
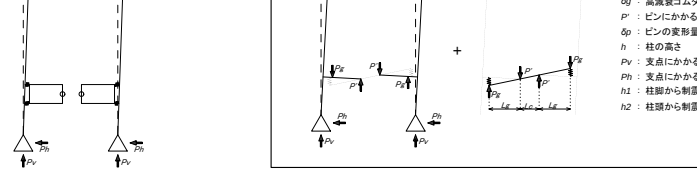
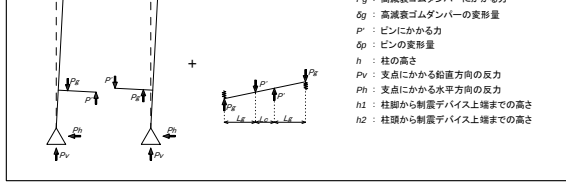


図 4: 制震デバイスの全体概要図



4 制震デバイス補強の変形モード理論

4.1 変形モード理論の概要理論

制震デバイス補強の変形モード理論の概要を図 5、式 1 に示す。水平荷重 P [kN] を受ける場合、図 5 に示す各変形モードを足し合わせることでにより全体の变形 δ を理論的に導出することができる。試験体の幅を L 、高さを h 、柱脚から制震デバイス上端までを h_1 、制震デバイス上端から柱頭までを h_2 とする。なお、変形モードは、梶川らの文献¹⁾を参考にした。

$$\delta = \delta_D + \delta_B + \delta_{FF} + \delta_{FR} + \delta_C \quad (1)$$

4.2 高減衰ゴムの変形モード δ_D

高減衰ゴムの変形モードの力学モデルの概要図を図 6 に、理論式を式 2 に示す。

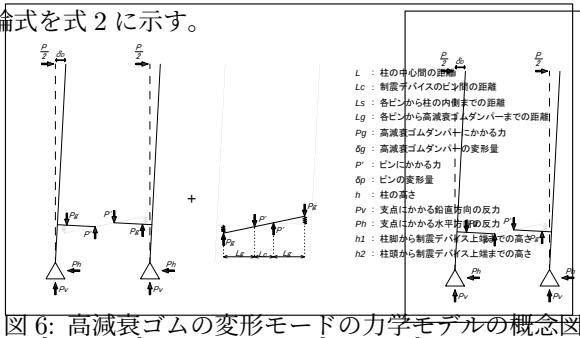


図 6: 高減衰ゴムの変形モードの力学モデルの概念図

4.3 柱の曲げ変形モード δ_B

制震デバイスの柱の曲げ変形モードの力学モデルの概念図を図 7 に、理論式を式 3 に示す。

$$\delta_B = \frac{Ph^3}{6EI} \quad (3)$$

4.4 フレームの変形モード δ_{FF}

制震デバイスのフレームの変形モードの力学モデルの概念図を図 8 に、理論式を式 4 に示す。

$$\delta_{FF} = \frac{L_f^3}{6EI} \left\{ \frac{(2L_g + L_c)h}{(2L_s + L_c)L_g} \right\}^2 \times P \quad (4)$$

図 7: 柱の曲げ変形モードの力学モデルの概念図

図 8: フレームの変形モードの力学モデルの概念図

4.5 フレーム接合部の変形モード δ_{FR}

制震デバイスのフレーム接合部の変形モードの力学モデルの概念図を図 9 に、理論式を式 5 に示す。

$$\delta_{FR} = \frac{1}{2H_f} \left\{ \frac{L_f(2L_g + L_c)h}{(2L_s + L_c)L_g} \right\}^2 \times P \quad (5)$$

4.6 柱接合部の変形モード δ_C

制震デバイスの柱接合部の変形モードの力学モデルの概念図を図 10 に、理論式を式 6 に示す。

$$\delta_C = \frac{(K_{VA} + K_{VD})h_e^2}{K_{VA}K_{VD}L_C^2} \quad (6)$$

図 9: フレーム接合部の変形モードの力学モデルの概念図

図 10: 柱接合部の変形モードの力学モデルの概念図

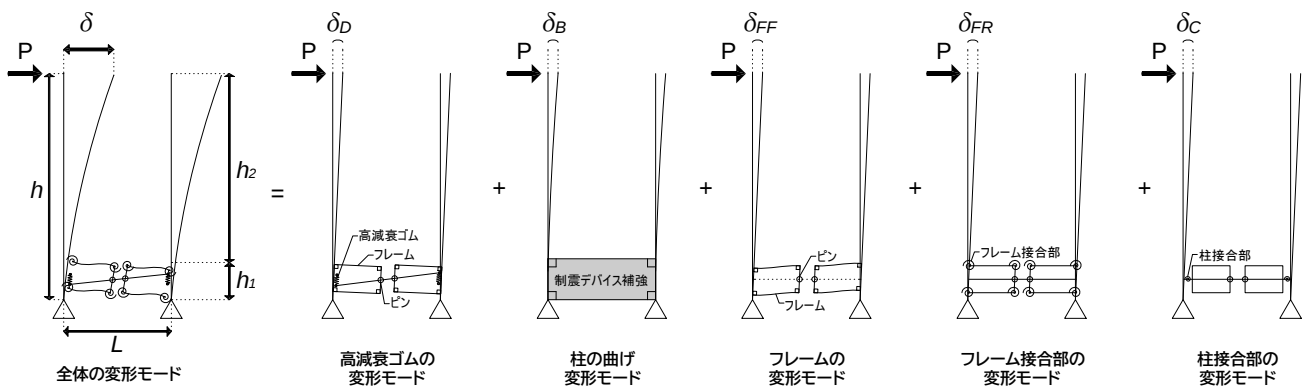


図 5: 制震デバイス補強の変形モード理論の概要

5 セーフティ機構の概要

図 11 に制震デバイス補強の水平抵抗機構のイメージを示す。制震デバイス補強の変形モードは、各変形モードの和と表される。セーフティ機構とは、高減衰ゴムの変形モード δ_D が、温度依存性などにより耐力が非常に大きくなった場合、フレームの鋼材の降伏またはフレーム接合部の摩擦による滑りにより、柱に入る荷重が一定の大きさより大きくならないようにする機構である。

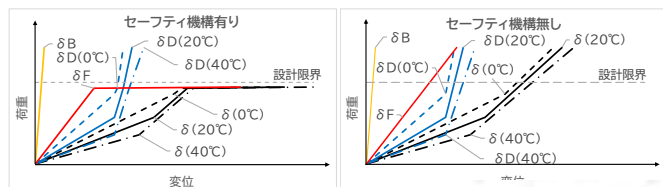


図 11: 制震デバイス補強の水平

6 制震デバイス補強の水平加振実験

6.1 概要

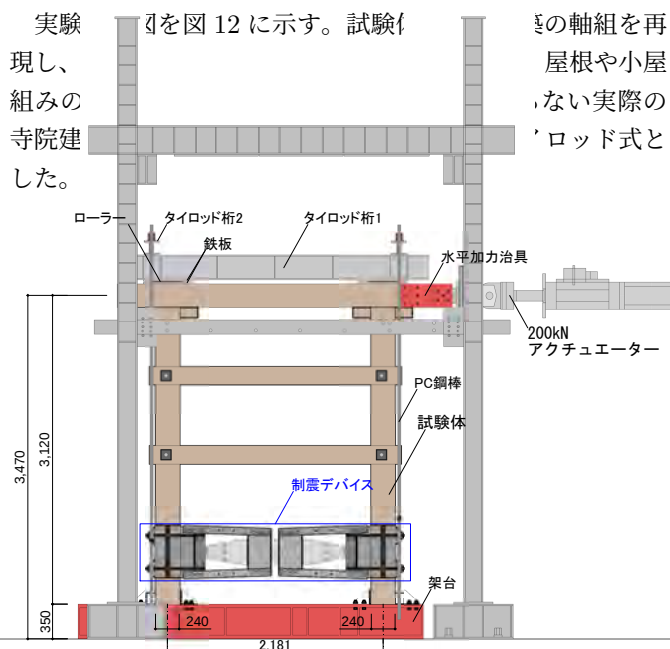


図 12: 実験概要図

6.2 試験体の概要

試験体は、一般寺院建築の軸組を一部再現したものの柱間を制震デバイスにより緊結したものである。試験体の構成要素のパラメータを図 13 に示すものとし、試験体名を図 13 のように表示する。また、それぞれの試験体を表 1 に示す。

L70t20-f1-sn345-001

振動数の種類 001: 0.01Hz
200: 2.00Hz
高力ボルトを締めるときにかけたトルク
250: 250N・m
345: 345N・m
サフェーシスの処理 sb: プラスト処理有
sn: プラスト処理無
フレーム断面 f1: 断面1 (75mm×12mm)
f2: 断面2 (100mm×32mm)
高減衰ゴムの大きさ、厚さ
L70t20: 70mm厚
L00t00: 高減衰ゴム無し

図 13: 試験体名

表 1: 試験体一覧

	0.01Hz	2.0Hz
f1-sb250	○	○
f1-sn345	○	—
f2-sb250	—	○
f2-sn345	○	—

6.3 加振方法及び計測方法

加振は、正負交番 4 回の繰り返し加振を見かけのせん断変形角が $\pm 1/600$ 、 $\pm 1/450$ 、 $\pm 1/300$ 、 $\pm 1/200$ 、 $\pm 1/150$ 、 $\pm 1/100$ 、 $\pm 1/75$ 、 $\pm 1/50$ 、 $\pm 1/30$ [rad] となるように制御しながら、0.01、2.0[Hz] の振動数別に行う。計測機器は、アクチュエータ内蔵の荷重及び変位、変位計を用いた。

6.4 実験結果

各試験体の荷重 - 変位関係、基準骨格曲線、履歴面積及び等価粘性減衰定数を図 17 に示す。

荷重変位関係は、いずれの試験体も滑らかな大きな紡錘形を描いていて、最大荷重は 85.7kN から 117.1kN となった。基準骨格曲線は、ほとんどの試験体が最終的にフレームの変形モードが支配的になっているが、L70t20-f2-sn345-200 のみは柱接合部の回転モードがもっとも大きくなっている。

履歴面積及び等価粘性減衰定数は、それぞれの荷重 - 変位関係の 3 ループ目から算出した。

7 軸組構面における荷重-変位関係の評価

軸組構面の復元力特性は、制震デバイス補強、土塗壁及び貫架構それぞれの復元力を足合わせて算出する。なお、ここでは 2 章で示した寺院建築の Y3 通りについて検討を行う。

7.1 各復元力特性の算出

制震デバイス補強の復元力特性を図 14 及び表 2 に示す。これは水平加振実験のうち L70t20-f1-sn345-001 の試験体より得られた結果を用いて算出した。制震デバイスは Y3 通りに 2 基設置する。

土塗壁の評価方法においては寺院建築内部において、無開口壁だとしても床下部分の空間を開口部分と見なすことにして、文化庁²⁾により提案されている小壁付独立柱の復元力モデルを用いた。

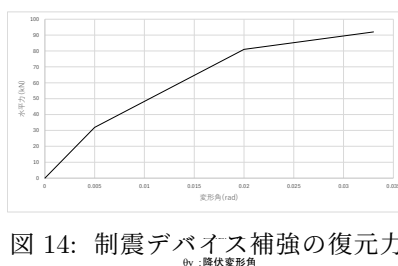


表 2: 制震デバイス補強の復元力特性

	変形角 θ_d [rad]	荷重 P_d [kN]
(1)第一折点	0.005	32
(2)第二折点	0.02	81
(3)最大荷重	0.033	92

図 14: 制震デバイス補強の復元力特性

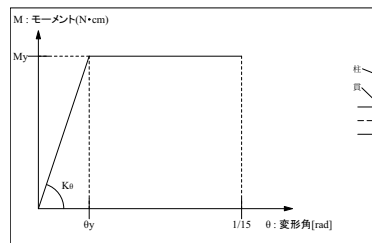


図 15: 貫架構の復元力モデル

図 16: 貫接合部

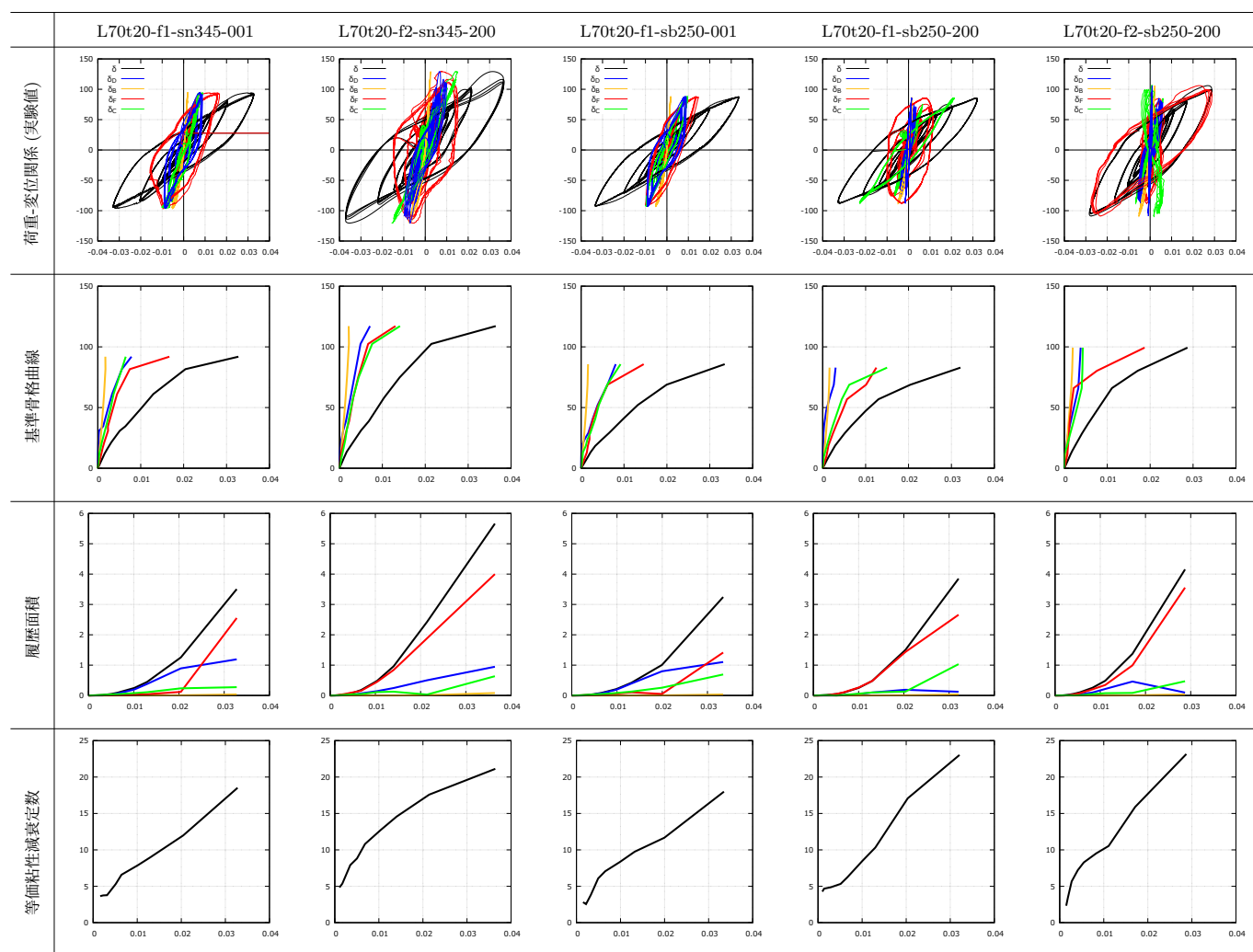


図 17: 実験結果

貫架構の復元力は、貫接合部のめり込み耐力を曲げモーメント-変形角関係より求める。復元力モデルは図 15 に示すバイリニアモデルとし、復元力の算定は稲山氏のめり込み理論³⁾を参考にした。貫は柱を挟み込むように配置されているため図 16 のように設定した。

7.2 軸組構面の復元力特性の算出

上記で求めた各復元力を足し合わせた寺院建築全体の復元力を図 18 に示す。

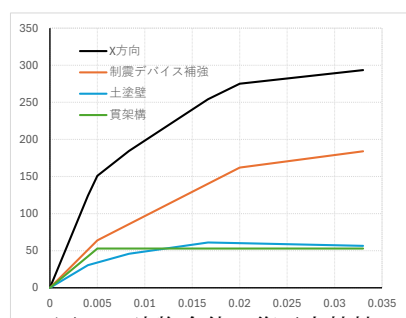


図 18: 建物全体の復元力特性

8 まとめ

制震デバイス補強の水平加振実験より構造特性を明らかにし、寺院の耐震補強技術として十分な耐力を有していることを明らかにした。また、軸組構面における荷重-変位関係の評価を行い、制震デバイス補強を組み込むことにより耐力が大きく向上することを確認した。

謝辞

加振実験において、明治大学梶川研究室の学生諸子、ミサワホーム総合研究所の研究員諸氏及び菊池昭人氏に協力をして頂きました。謝意を表します。

参考文献

- 1) 梶川久光, 野口弘行, 小川春彦: 変形拡大機構付加型粘弾性ダンパーを用いた木質制震耐力壁に関する研究-木質構造物における制振構造に関する研究 (第 1 報), 日本建築学会構造工学論文集, Vol.52B (日本建築学会), pp.457-466, 2006.03
- 2) 文化庁: 重要文化財 (建造物) 耐震既存診断実施要領, 文化庁, 2012.06
- 3) (財団法人) 日本住宅・木材技術センター: 木造軸組工法住宅の許容応力度設計 第 1 版, (財団法人) 日本住宅・木材技術センター, 2001.12

研究課題： 近代洋風建築に用いられる木ずり下地塗り大壁の耐震性能

大阪産業大学 建築・環境デザイン学部 教授 北守顕久

1. はじめに

我国の近代洋風建築に関して、その良質なものが重要文化財に指定されるなど今後さらなる維持保全技術の進歩が求められており、特に耐震性能に関する評価・補強策も急務である。これら建築においては筋交構造を有することが多いが、漆喰やモルタル塗りの外壁・内壁も重要な耐震要素となっていると思われる。このため、従来の仕様を保持し文化財としての価値を維持しつつ、十分な耐震安全性を満足するためには、これら壁要素の正当な評価が必要である。一方で、既往の研究事例は和風意匠に見られる真壁を対象としたものが多く、大壁軸組に対する事例は少ない。そこで本研究においては、これまであまり顧みられていない木ずり下地・釘・漆喰の各種仕様および塗材料としてのモルタルに焦点を当てた検討を行った。

2. 試験体

試験装置の関係で、一般的な耐力壁寸法に比べ高さ方向に半分の寸法（高さ 1365 mm、幅 910 mm の）を有する耐力壁試験体を用い、水平せん断載荷実験を行った。試験体の各部寸法は図 1 に示す通り。柱、梁、土台には 105mm 角のスギ製材を用い、柱両端を短ほぞとしてタナカ製コンパクトコーナー金物で留め付けた。壁体がせん断変形を受ける際、柱と横架材間でこじり抵抗を生じないように、短ほぞ部と接触面積 30x105 mm を残して木口を斜めに切削し、仕口が 1/15rad を超える程度まで回転接触をしないような加工を施した。また、試験体中央には間柱を配置した。

試験体フレームに木ずりを等間隔で打ち付けて下地とし、そこに湿式の塗り材で仕上げることで耐力壁試験体を作製した。木ずり寸法、留め付け方、仕上げ塗り材の仕様を変化させた試験体を計 7 種類作製した。木ずりの基本仕様は、幅 42 厚 10 mm のすぎ荒材を用い目透かし寸法 10mm で端部および中央を N32 釘 2 本で留め付けた。これに直接木漆喰を下塗りし、中塗り一上塗りで仕上げたものが漆喰仕様(S)である。漆喰を塗らないもの(N)、釘を 1 本止めのもの、塗仕上げを付け送り(St)までとしたものをパラメータとしている。また、漆喰では無く下塗りとしてモルタルを用い、プラスター仕上げとした試験体(PM)を作成した。本仕様では、現存する文化財を参考に、木ずり寸法 34x6mm とし、釘 1 本止めとした試験体も作成した。また、現代の一般工法として外壁に用いられる木ずりラスモルタル仕様(M)を比較要素として作成した。各仕様を表 1 に示す。また各仕様における各層の寸法を表 2 に、各層の材料の配合比を表 3 に示した。

表 1 試験体仕様

試験体名	木摺り幅	木摺り厚	目透かし	釘	釘本数	塗厚 (mm)	下塗り	中塗り	上塗り
N-42-2	42	10	10	N 32	2	0	左官無し		
St-42-2						8	木漆喰 (砂 2.4 mm)	付け送りまで	漆喰
S-42-2						16		砂漆喰 (砂 1 分)	
S-42-1					1		モルタル (砂 1 分)		モルタル (砂 1 分 2 厘)
PM-42-2					2				
PM-34-1	34	6	6		1				
M-75-2	75	12	20	N 50	2	25	フェルト・波ラス・モルタル	モルタル (砂 1 分)	モルタル

表 2 各層の塗厚

漆喰

	下塗り	付け送り	砂漆喰中塗り	漆喰上塗り
塗厚	約 2～3 mm	約 4～5 mm	約 7～8 mm	約 1.5 mm

モルタルプラスター

	下塗り	中塗り	プラスター仕上げ
塗厚	約 5～6 mm	約 7～8 mm	約 2 mm

モルタル

	下塗り	中塗り	モルタル仕上げ
塗厚	約 10 mm	約 7～8 mm	約 8 mm

表 3 各層の配合比

木漆喰		重量比	
石灰		70.4%	
砂 2.4 mm		26.4%	
マニラスサ		1.1%	
粉角又		2.1%	
砂漆喰（付け送り用・中塗り用）			
石灰		21.1%	
砂（5 厘）		78.1%	
マニラスサ		0.2%	
粉角又		0.6%	

漆喰（上塗り用）		重量比	
石灰		100%	
木摺り用モルタル			
セメント		38.3%	
砂（1 分）		61.2%	
マニラスサ		0.5%	
ラスこすり用モルタル			
セメント		26.3%	
砂（2 分）		73.6%	
マニラスサ		0.1%	

3. 試験方法

試験体は工場で左官仕上げしたのち 3 週間養生し、試験室に搬入して鋼製反力フレームにセットした。梁の水平変位で制御し、手動ジャッキで頂部を静的正負交番水平せん断載荷した。見かけのせん断変形角を耐力壁の評価試験法に準じた目標変形角とした制御を行い、1/50rad まで 3 回繰り返し載荷したのち、1/30, 1/15rad で 1 回繰り返し加力を行った。

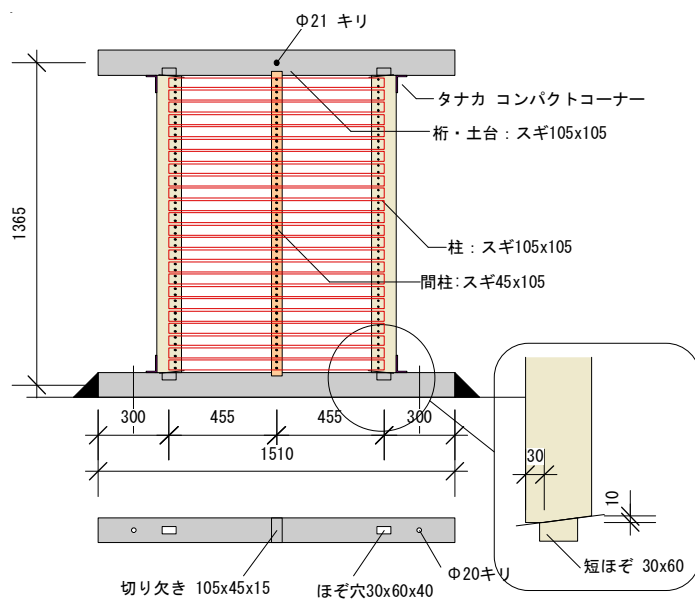


図1 試験体概要



写真1 試験体背面 上 St-42-2、中 PM-42-2、
下 M-75-2

4. 結果と考察

図5に荷重—せん断変形角関係の履歴ループを示す。漆喰仕様の S-42-2 試験体では、 $1/300\text{rad}$ 時で表層の漆喰が全くひび割れを生じることなく中塗り層とともに剥落した。S-42-1 試験体も同様の結果となった。これは中塗り層に用いられる砂漆喰の砂構成比率が大きく脆い性質を有しており、かつ表層の漆喰層が固いため木ずり層の変形に砂漆喰層が追随できなかったためと考えられた。このため、砂漆喰層の自重により付け送り層と下塗り層の境界まで一気に剥がれ落ち、初期の立ち上がりを取り除いた包絡線(図3)は、ほぼ木ずりのみの試験体(N)と変わらないものとなった。S-42-2 と N-42-2 の差が木ずり間に残された下塗り木漆喰の効果と考えられ、1本釘で釘の回転抵抗が期待できない S-42-1 が S-42-2 よりも小さいものの一定の耐力を保持していることを見ると、その効果を裏付けるものと言える。

一方で、付け送りで仕上げをとどめた試験体(St)は、付け送り砂漆喰層が剥がれ落ちることなく、 $1/100\text{rad}$ 程度で最大荷重を示した。その後も、木ずりと木ずりの間で漆喰に横割れが発生し、徐々に塗面が分割されていくものの、S や N 試験体よりも倍程度の耐力を維持した。 $1/50\text{rad}$ を超えてからはさらに荷重が大きくなった。表層の漆喰が下塗り層まで剥落した S-42 試験体では残存塗厚が 2-3mm であったのに対し、St 試験体では 6-8mm の残存厚があった効果であると考えられる。

モルタル下地プラスター塗試験体(PM)では、モルタルが層間で剥がれたりせん断割れが生じることなく、釘の引き抜けによって徐々に耐力低下を生じる履歴を示した。このため、その耐力性能は釘の本数にほぼ依存するものとなり、木ずりに釘2本打ちの PM42-2 は、1本打ちの PM34-1 に比べて高い性能となった(釘本数比率は $2/(42+10):1/(34+6)=1.53:1$)。

写真 1 に示すように、近代仕様の木ずりモルタル壁ではモルタルが木ずり裏面までがっちり食い込んでいるため、剥離することは無いと考えられる。一方で、木ずりの上にフェルトを貼り、メタルラスをステープル止めしてモルタルを塗り付ける現代の外壁仕様(M)では、@100 で千鳥に打ち付けた 1019J ステープルが木ずりから引き抜けつつ変形し、荷重低下する曲線となった。木ずりと柱間のずれはほとんど生じず、ほぼステープルの変形であった。これらの試験体では、抵抗メカニズム的に壁高さの影響は少ないことが報告されているため、包絡線の完全弾塑性置換から特性値を算出し、壁倍率換算値を計算した。結果を表 4 に示す。S 仕様は 1 前後だが、St 仕様では 2.58、PM 仕様では 2.5~3 と大きな壁倍率となることが分かり、近代仕様のモルタル大壁の耐力評価への可能性が示唆された。

表 4 特性値と壁倍率換算値

	N-42-2	St-42-2	S-42-1	S-42-2	PM-34-1	PM-42-2	M-75-2
Pmax (kN)	1.86	5.00	3.22	3.12	8.14	13.72	6.74
Py (kN)	0.90	2.58	1.60	1.51	4.58	7.03	3.81
Pu (kN)	1.61	4.81	2.80	2.58	7.20	11.70	5.96
P(1/120) (kN)	0.77	4.22	1.15	2.44	5.65	7.57	5.54
初期剛性 K (kN/rad)	66	712	1568	1707	941	1086	977
$Ds=1/\sqrt{2\mu-1}$	0.48	0.18	0.57	0.11	0.30	0.42	0.32
Pa (kN)	0.67	2.58	0.99	1.51	4.58	5.61	3.77
見かけ壁倍率	0.38	1.44	0.55	0.85	2.57	3.14	2.11

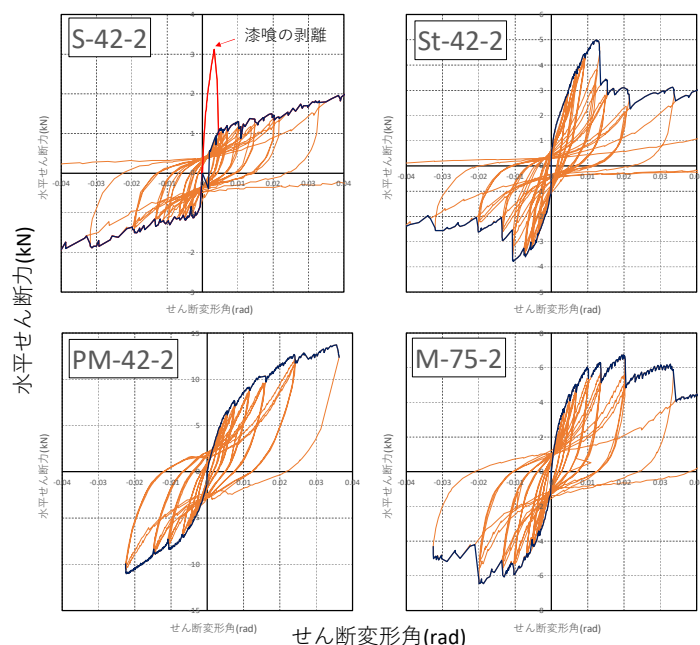


図 2 荷重一変形角履歴曲線

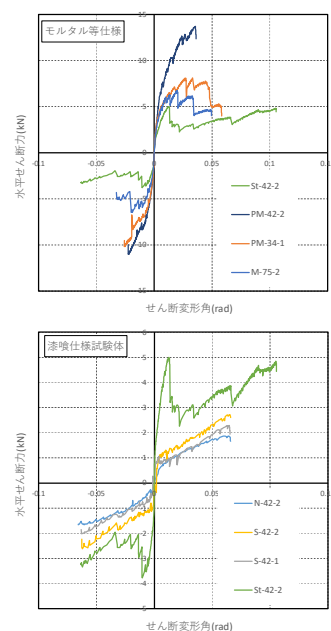


図 3 荷重 - 変形角関係包絡線の比較

日照の季節・時刻変化を考慮した茶室の採光手法と茶事における光・視環境の演出の関係

須藤 美音（東京都市大学） 濱田 晋一（名古屋工業大学）

1. はじめに

茶室は狭小な空間の中に複数の開口部を持ち、季節・時刻により時々刻々と変化する昼光を巧みに調整して、光・視環境の演出がされていたと考えられる。本研究は、近世以前に建立された、国宝・重要文化財に指定されている茶室を対象として、時々刻々と変化する日照に対し、開口部を通した光の取り入れ方を明らかにし、茶事における日照による空間の演出手法について考察を行う。

第2章では、図面分析と実測調査により、点前座・床・開口部の位置関係から、茶室における採光構成の特徴を明らかにする。第3章では、照度解析により、時刻変化に伴う亭主・客人の手元照度および顔面照度の変化を把握し、茶事における光・視環境の特徴を考察する。これより、茶室には欠かせない光に対する設計者の意図を解明することを目的とする。

2. 図面分析と実測調査による開口部の構成特性の解析

2.1 調査の概要

茶室は千利休が設計したとされる妙喜庵待庵をはじめ、その内部空間に個々の特徴が見られる。これまで、平面構成や建具、意匠に関する研究は行われてきたが、茶事における空間の使い方、採光に関する設計者の意図については明らかにされていない。本章では実測調査と図面の分析より平面構成と茶事を通じた茶室の設計手法を明らかにする。

表1の重要文化財に指定される茶室の内、修理工事報告書と日本建築史基礎資料集成に図面が掲載される19棟を対象とする。なお、これまでに5棟の実測調査を行っている。

2.2 平面の分析

茶室は、亭主の点前座と客人の客座、床によって構成される。点前座と床の位置関係について分類し、一覧を表1に示す。なお、亭主は炉の隅に対してやや斜めに座るのが一般的である。

2.2.1 点前座右前方床型

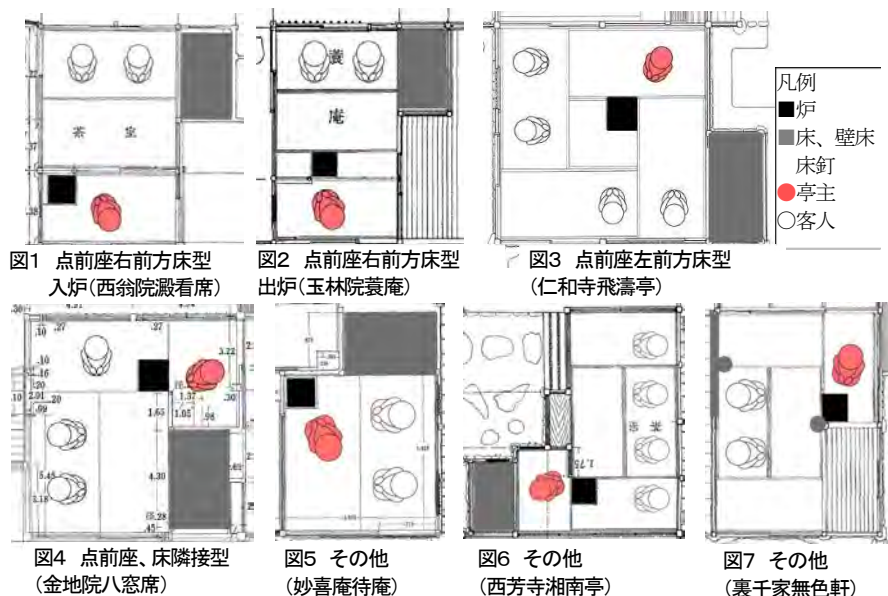
この型式は、亭主から見て右前方に床を有し、亭主の視線と床の向きが直角に交わる構成をとる。客人は最初に床を鑑賞し、次に座る向きを変えて亭主と向かい合って茶事を行ったと考えられる。さ

らに、点前をする上で炉の位置は重要となり、その位置に注目すると、亭主の座る点前座の内に入る入炉、外に出る出炉に分けることができる。

点前座の内に炉があるものを入炉といい、客人のスペースを広くとることができる。点前の様子を見せることにより客人と亭主の会話を重視した設計と考えられ、3棟確認できる。作者は異なるものの、千利休を慕い詫びさびを追求した茶人であることが共通している。織田有楽はそ

表1 対象遺構

名称	建立年代	作者	点前座と床の分類
妙喜庵 待庵	1573～1593	千利休	その他
西芳寺 湘南亭	1596～1614	千少庵	その他
高台寺 時雨亭	1604	千利休	点前座、床隣接型
龍光院 密庵席	1611	小堀遠州	点前座右前方床型 出炉
如庵	1618	織田有楽	点前座右前方床型 入炉
水無瀬神宮 燈心亭	1624～1644	御水尾天皇	点前座右前方床型 出炉
金地院 八窓席	1628	小堀遠州	点前座、床隣接型
孤蓬庵 忘筌	1643	小堀遠州	点前座、床隣接型
裏千家 今日庵	1646	千宗旦	点前座右前方床型 入炉
裏千家 又隠	1653	千宗旦	点前座右前方床型
西翁院 漱看席	1685～1686	藤村庸軒	点前座右前方床型 入炉
玉林院 蓑庵	1739	鴻池了暎	点前座右前方床型 出炉
聚光院 閑隠席	1741	千宗左（如心斎）	点前座右前方床型 出炉
玉林院 霞床席	1742	鴻池了暎	点前座右前方床型
仁和寺 飛濤亭	1789～1801	光格天皇	点前座右前方床型
聚光院 樹床席	1810	原叟（覺々斎）	点前座、床隣接型
裏千家 抛筌斎	1839	田口善兵衛	点前座右前方床型
裏千家 咄々斎	1839	不詳	点前座右前方床型
裏千家 無色軒	1839	不詳	その他



の中でも炉と床の位置の密接な配置を意識して茶室を作ったとされ、それが弟子の二人にも受け継がれる。この型式は19棟中7棟で確認され、点前畳の短辺側に設けられる(図1)。

一方、点前畳の外に炉があるものを出炉といい、点前座の横にある袖壁に開けられた風呂先窓から点前棚を客人に見せられるとともに、点前の様子も見せることができるよう設計され、4棟確認された。小堀遠州とつながりがあった茶人によって作られている。武家、天皇など身分を問わず幅広く親しまれた茶室の形である(図2)。

2.2.2 点前座左前方床型

炉を茶室の中心に有し、亭主の目線と床の向きが直角に交わる構成をとる。5棟確認され四畳半以上ある広間の茶室にみられる。1653年に千宗旦が建立した裏千家又隠で最初にみられ、残りの4棟は1700年代後半以降に建てられる。床、亭主の姿の両方がどの客人からも見えやすいよう設計されたと考えられる(図3)。

2.2.3 点前座、床隣接型

点前座のすぐ隣に床を有し、亭主と床が同じ方向を向く構成をとる。4棟確認され、その内の3棟が1600年代前半の小堀遠州設計の茶室にみられ、聚光院桝床席を設計した原叟(覚々斎)も遠州の影響を受けたとされている。客人が床を鑑賞し、そのまま亭主との会話も楽しめるよう設計されていたのではないかと考えられる(図4)。

2.2.4 その他

妙喜庵待庵は、点前畳の隅に炉を有し、亭主と床が向かい合う形に配置される。炉が隅にあることで、客人は躰口を入ってすぐ床を臨むことができるように設計されている(図5)。西芳寺湘南亭は、点前畳長辺に隣接した床を有し、亭主の背面に床が配置される。この茶室は床を見せることにより、北面や西面の障子戸をあけて庭園を楽し

めるよう設計されたと考えられる(図6)。裏千家無色軒は点前座向かいに壁床を有し、亭主の真正面に床が配置される。また床釘が点前座側の中柱にも取り付けられており、客人が入ってすぐは壁床の飾りを楽しみ、茶事が始まると亭主と客人が向かい合い、中柱にかけられた飾りを楽しめるよう設計されたと考えられる(図7)。

2.3 開口部の用途の分析

ここでは窓を持つ14棟の茶室を対象として解析をする。

2.3.1 床を照らす窓

この窓は、14棟中11棟で確認され、床内や床と直交する位置の壁面に設けられている。床からの距離2尺前後の位置に配置され、窓の高さも約2尺である。床内の中釘や床柱の花釘の位置と窓の上部が同じ高さに来ることで床飾りを効果的に照らせるよう設計されている。(図8、図9)

2.3.2 点前の手元を照らす窓

この窓は、14棟中7棟で確認され、点前畳の短辺側に設けられる。床から1尺前後の高さの位置に配置され、窓自体の高さは約1.5尺となっている。ほかの窓に比べて位置は低く、高さ寸法も小さいのが特徴である。手元だけを照らせるだけの光を取り込めるようにすることで、客人のいる空間が相対的に明るくなり、客座空間を広く見せられるよう設計されたと考えられる(図8、図9)。

2.3.3 客人の手元と室内採光の窓

この窓は、14棟中11棟で確認され、腰張や躰口上に設けられる。床から2尺から3尺の高さに配置され、窓自体の高さは2尺から2.5尺となっている(図8、図9)。天窗は14棟中3棟にみられる。障子を閉めた状態で使うことで、上からの光を室内全体に柔らかく取り込む。突き上げ窓の角度によって入る光の量を調整していたと考えら

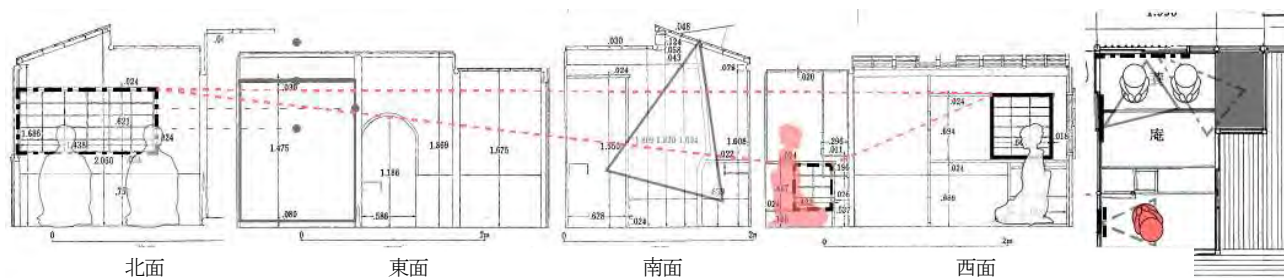


図8 窓の用途1(玉林院菰庵)

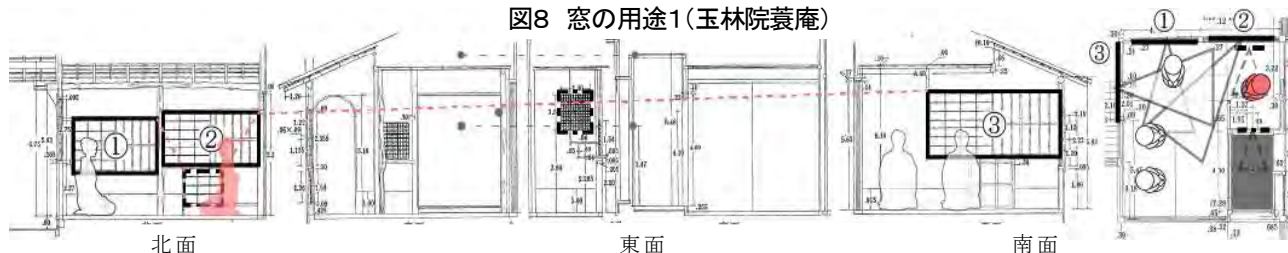


図9 窓の用途2(金地院八窓席)

凡例	—・— 床を照らす窓	— 点前を照らす窓	— 客人のための窓	● 亭主 ○ 客人
	↖ 床を照らす窓からの光	↖ 点前を照らす窓からの光	△ 客人・採光の光	

表 3. 解析概要

解析対象	国宝・重要文化財に指定茶室 18 棟 (妙喜庵待庵(A)、西芳寺湘南亭(B)、水無瀬 神宮燈心席(C)、高台寺時雨亭(D)、如庵 (E)、龍光院蜜庵席(F)、金地院八窓席(G)、 西翁院澱看席(H)、聚光院閑隠席(I)、玉林院 蓑庵(J)、玉林院霞床席(K)、孤蓬庵忘筌 (L)、仁和寺飛濤亭 (M)、裏千家今日庵(N)、 裏千家又隠(O)、裏千家拋筌斎(P)、裏千家無 色軒 (Q)、裏千家咄々斎(R))	
解析ソフト	DIALux evo、バージョン 13.2	
解析日時	冬至(12月22日) 8時、10時、12時、14時、16時	
天候	晴れ	
建具情報	日本建築史図集・実測調査に基づく	
建具の 光学的物性値	障子	反射率：47% 透過率：49 屈折率：1.3%
	畳	反射率：55% 透過率：0%
	土壁	反射率：10% 透過率：0%
	襖紙	反射率：40% 透過率：0%
	木建材	反射率：30% 透過率：0%
庭の植栽	考慮しない	
人体	体：450mm × 250mm × 600mm	
	頭：155mm × 190mm × 220mm	

れる。

3. 照度解析による開口部の構成と光・視環境の関係

3.1 解析概要

茶室は狭小空間に複数の開口部があり、時刻経過に伴い、視度環境も変動する。本章では、客人および亭主の手元照度と顔面照度に着目する。手元照度は、亭主にとっては茶を点てる際の視対象の明るさ、客人にとっては茶を飲む際の視対象の明るさを示す指標である。すなわち、手元照度は茶を点てる・飲むという行為における明視性に関わる照度であり、一定程度の明るさが求められると考えられる。一方、顔面照度は、茶室が歴史的に政治的な対話や交渉の場としても用いられてきた点に着目し、亭主と客人が向き合う場面において、相手の顔や表情を認識するための明るさを示す指標として扱った。

表2に解析条件を示す。表1に示す茶室のうち 18 棟を対象に解析を行った^{注1)}。対象日時は、最も日照時間の短い冬至(12月22日)の8時、10時、12時、14時、16時とした。3Dモデルの構築には日本建築史図集および実測による建具の寸法・材質の情報を用いた。茶室モデル内には亭主・正客が着席する位置に人体モデルを配置した。正客は「床本位」配置の考えから床の前を上座とし、床の間の最も近くに座る客人を正客と定義した。分析対象は、正客・亭主の正面床面照度と両者の顔面照度である。

3.2 手元照度の解析結果

図10～12に手元平均照度の変化を示す。便宜上、図10に最大平均照度400lx未満の低照度帯、図11に最大平均

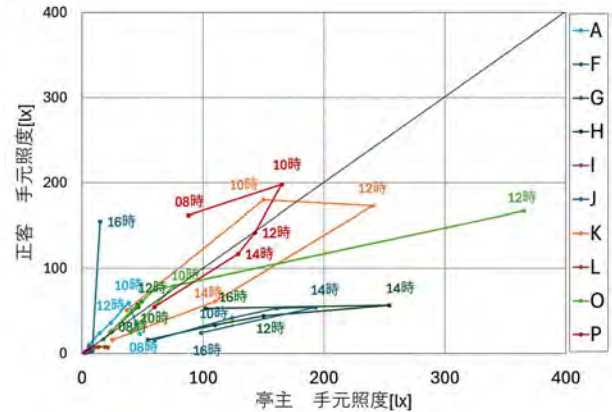


図 10 低照度帯 手元照度(600mm)

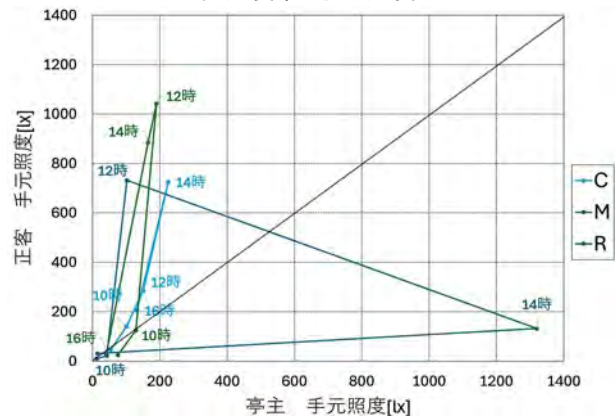


図 11 中照度帯 手元照度(600mm)

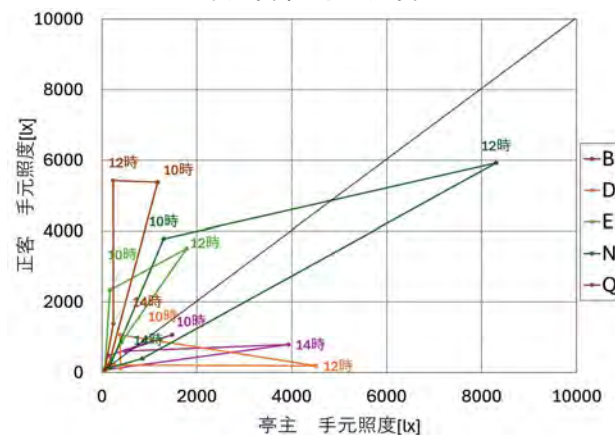


図 12 高照度帯 手元照度(600mm)

照度 400lx 以上 1400lx 未満の中照度帯、図 12 に最大平均照度 2000lx 以上の高照度帯を示す。なお、図中の位置関係として、左上に近づくほど正客の手元照度が高く、右下に近づくほど亭主の手元照度が高いことを意味する。JIS 規格の住宅の居間の推奨照度が 50lx であることから、手元照度が 50lx 以上あれば茶会を楽しむ上で十分な照度であると判断した。

これらのデータより茶室の時刻変化に対する正客と亭主の手元照度の変化の関係を以下の3つの型に分類した。

・中央突出型 (9 棟)

グラフ上で三角形または弓の形をとるもの(茶室 A・B・D・E・G・K・M・N・P。正客・亭主とも時刻による

照度の変化が大きい茶室が分類される。10時から14時の日中に最大照度となる傾向が見られた。

・直線型（7棟）

時間の変化に対して、照度の変化が直線的に変化しているもの。勾配が1未満である茶室H・J・Oは正客の手元照度の変化が亭主より小さくなり、勾配が1以上となる茶室C・F・Q・Rは正客の手元照度の変化が亭主より大きくなっていた。

・その他（2棟）

原点近くで停滞し、終日を通じて50lx以下の低照度となり時間帯による変化が小さい茶室である（茶室I・L）。これらの茶室は西面に最大窓があり、冬至の快晴であっても必要な明視照度を満たしていなかった。

3.3 顔面照度

図13～15に顔面平均照度の変化を示す。図13に最大平均照度400lx未満の低照度帯、図14に最大平均照度400lx以上1400lx未満の中照度帯、図15に最大平均照度2000lx以上の高照度帯を示す。散布図では左上のプロットほど正客が亭主を、右下のプロットほど亭主が正客を視認しやすいことを示す。夜間の街路照明設計ガイドラインより、鉛直面照度が2lx以上であれば、相手の顔（目・鼻・口）を認識可能とされる。本調査対象の茶室においては、すべての条件でこの必要照度を満たしていた。

以上のデータより時刻変化に対する正客と亭主の顔面照度の変化の傾向を2つの型に分類した。

・中央突出型（7棟）

グラフ上で三角形または弓の形をとるもの（茶室A・C・D・G・H・K・P）。正客・亭主両者とも時刻による照度の変化が大きい茶室が分類され、日中に最大平均顔面照度をとる傾向にあった。

・直線型（11棟）

時間の変化に対して、照度の変化が直線的に変化しているもの。茶室B・E・Oは、勾配が1未満であり、亭主の顔面照度の変化が正客より小さくなった。一方、茶室C・F・I・J・L・M・N・Q・Rは勾配が1以上となり、正客の照度変化が亭主の変化よりも小さくなった。

4. まとめ

- 1) 図面分析と実測調査により、床・点前・客人の位置に応じて開口部が配置され、茶事の行為や視線に対応した採光構成が形成されていることを示した。
- 2) 照度解析により、手元照度は茶を点てる・飲む行為の明視性に関わり、茶室ごとに時刻変化に伴う照度変動の特徴が異なることを明らかにした。
- 3) 顔面照度は、亭主と客人が相互に表情を認識するための最低限の明るさを満たしており、対話の場としての茶室の視環境が確保されていたことを示した。

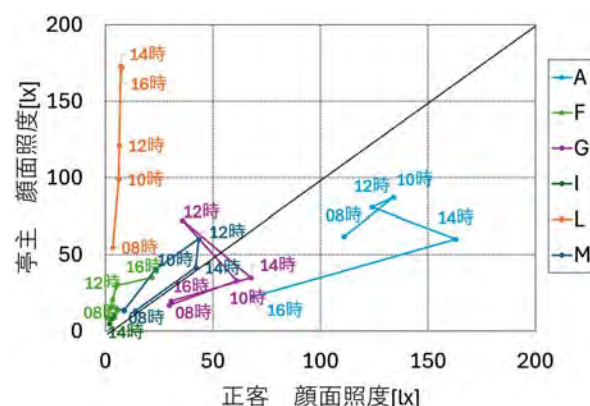


図13 低照度帯 顔面照度比較

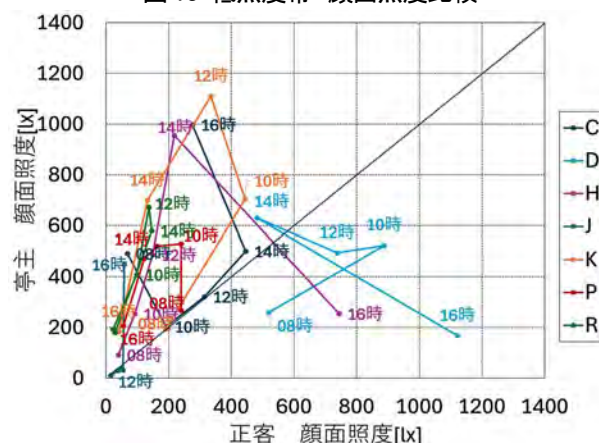


図14 中照度帯 顔面照度

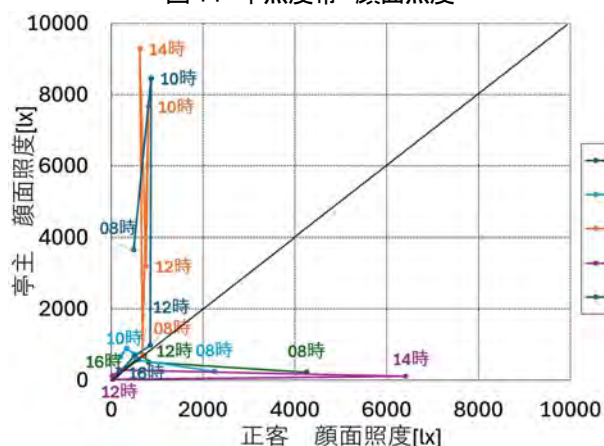


図15 高照度帯 顔面照度比較

以上より、茶室の開口部は単なる採光装置ではなく、床飾り、点前、客人、対話の場面に応じて光を制御する設計要素であることが示唆された。

謝辞

本研究は、公益財団法人松井角平記念財団の助成を受けた。研究に協力いただいた森山幸咲氏、藤井亮有氏、後藤結衣氏、照明評価手法について助言をいただいた江越充氏に深く感謝する。

【注】

- 注1) 実測及び文献調査により、建具の寸法および材質が再現可能な18棟を対象としている
- 注2) 床面照度の分析範囲は、茶道を行う上で必要な道具を600mm四方内に配置し、お手前を行うことを想定して設定した。顔面照度の範囲は頭模型の前面155mm×220mmとした。

土蔵造建物の大壁における壁土剥落メカニズムの解明と設計手法の提案

東京都立大学 准教授・多幾山法子

1. 研究の背景および目的

近年は、文化的価値の高い伝統木造建物を利活用しつつ、歴史的な集落・町並みの保存を図る活動が社会的に活発化している。しかし、耐震改修を行う場合の安全性を確保するための技術的な拠り所がない。そこで、国土交通省では、2018年に建築基準法の適用除外の枠組みを利用したガイドラインを策定し、独自条例の策定を推進している。

伝統木造建物の耐震性評価手法の一つとして、限界耐力計算に基づく手法がある。限界耐力計算の過程では、構造要素のせん断力を単純加算することによって建物全体のせん断力を算出するが、従来の設計値は限定的な仕様に対しての実験研究に基づいたものであり、多様な伝統木造建物の特性を適切に考慮できているとは言い難い。

伝統構法木造建物的一种である土蔵の外壁は壁土を厚く塗り重ねた仕様であるが、大壁の力学特性に関する研究は、実験での取り扱いが難しいため事例は多くない。一方、過去の地震においては、大壁の壁土が剥落した被害事例が多数確認されている^{1,2)}。2007年能登半島地震では大規模な壁の剥落や倒壊が報告されている。2011年東北地方太平洋沖地震や2016年鳥取中部地震においては、土蔵の被害は木造軸組住宅に比べて被害が小さく、軸組の変形はみられず、土壁が損傷した事例が多く報告された。

一方、大壁は平時にはその重量により地震に不利な構造物であるが、地震時に土壁が剥落し、重量が大幅に軽減されることで、倒壊には至らないと推察されている。しかし、大壁仕様の土壁は実験条件等の設定が難しく、既往研究が非常に少ない。そこで、我々は先行研究において、大壁仕様の土壁の地震時挙動を適切に評価する手法の構築を目指し、実大大壁架構を用いた静的加力実験を遂行してきた³⁻⁶⁾。

また、2024年能登半島地震の直後に、AIJ災害調査団に属して木造建物悉皆調査を実施したが、そのうち土蔵のデータを抽出し、被害状況を分析した⁷⁾。主要な被害は荒壁の層からの壁土の脱落であり、土壁の下地となる小舞ごと脱落したものも確認された。

以上を踏まえ、本報では、先行研究で実施した実大大壁架構の静的加力実験の結果を踏まえ、躯体から壁土が分離して剥落する一連の破壊現象の詳細を解明するための足掛かりを得ることを目的とする。まず、前述した2024年能登半島地震の被害調査で取得したデータを詳細に分析し、(a)妻面と桁面の壁土被害の様相と全体の残留変形の関係や、(b)直交する構面の壁土が建物全体のせん断力にどのように影響し合うか、を把握する。次に、荒壁層で生じている壁土剥離現象を理解するため、土壁試験体、貫試験体、貫・小舞試験体の3パターンの実大倒壊実験を実施する。さらに、小舞に最も

近い荒壁の層で実際に生じている破壊現象を考察し、壁土の剥離性状を設計値に反映することを目指す。現在、土壁試験体の加力を終え、貫試験体、貫・小舞試験体の実大倒壊実験を実施しながら分析を進めているところである。また、躯体に用いられる継手に着目し、要素実験を通じてその力学特性を理解する。最後に、今後、実験結果を踏まえた検証に用いる建物として土壁を有する建物の構造調査を実施する。

2. 2024年能登半島地震における土蔵の被害調査

2024年能登半島地震において多数の木造建物が倒壊したことをうけ、AIJ災害調査団において木造建物悉皆調査が実施された。対象は土蔵に限ったものではないが、2024年3月、4月に撮影した画像より土蔵16棟の被害を抽出した。

選出した土蔵は、珠州市飯田町が3棟、輪島市河井町が1棟、輪島市門前町黒島町（重要伝統的建造物群保存地区）が12棟である。

損傷した土蔵に関して取得した主な情報は以下のとおりである⁸⁾。

- ・損傷レベル
- ・傾斜または倒壊した方角、梁間・桁行方向
- ・東西南北の各面の損傷

2.1 被害の特徴

最も顕著であった被害は壁土の剥落である（写真1）。小舞や、壁塗りの工程で最初に付ける荒壁の層で剥離したものが多く見られた。また、概ね通し柱で構成されているため、2階建て相当の土蔵であっても、特定の層に被害が集中しているものは見られなかった。



(a) 小破（黒島）



(b) 中破（黒島）



(c) 大破（黒島）



(d) 小舞の劣化（飯田）

写真1 土蔵の主な損傷

また、小舞および縄等、材料の劣化の影響を受け、壁土の剥落に加えて小舞（縦竹と横竹）の配列が崩れた事例も確認された。

2.2 面外方向への残留変形と大壁の損傷の関係

先行研究で実施した大壁の静的加力実験より³⁻⁶⁾、鉛直構面を面内方向へ加力した際の復元力特性や大壁の壁土の破壊性状が明らかになっている。しかし、図1のように直交方向に配された大壁による力学特性への影響の有無を実験的に確認することは非常に困難である。そこで、16棟の土蔵被害データに基づき以下をまとめた。

梁間・桁行方向の残留変形角：荒壁層から外側の壁土が完全に剥落する $1/30\text{rad}$ を基準とし、梁間・桁行両方向について $1/30\text{rad}$ を超えたか否か、傾斜の方角。

妻面・桁面の相当被害レベル：妻面と桁面それぞれを小破・中破・大破・倒壊に分類。

残留変形角が $1/30\text{rad}$ 以上となった構面の直交構面は概ね中破以上であった。残留変形角は概ね梁間・桁行両方向に生じていた。変形方向を問わず、平行・直交の両構面の大壁で壁土のせん断破壊や、せん断破壊後の面外方向への転倒など、何らかの損傷が生じていることが確認できた。

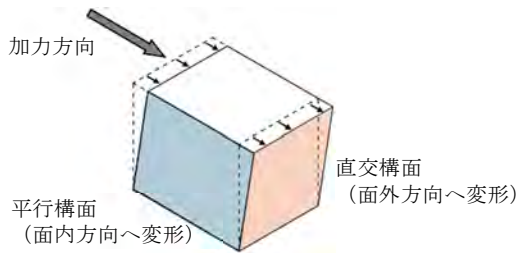


図1 加力方向と平行構面と直交構面の関係

2.3 大壁のせん断力の推定

先行研究で実施した実大大壁の静的水平加力実験により³⁻⁶⁾、柱径より外側の土壁は層間変形角 $1/250\text{rad}$ で、壁土全体が持つせん断力を発揮する前に、荒壁土の層から剥離し木造軸組と分離し始め、その後は軸組のせん断変形に追従しないことを確認した。

以上より、面内方向のせん断力に関しては、微小変形時は柱径より内側にある壁土のみ考慮した土壁と同様の設計値を用い、大壁部分の分離以降は、貫構造として扱う。

一方、直交構面の大壁に塗られた壁土に関しては以下の仮定を設ける。

- ・ 断面方向にせん断変形して大壁部分が躯体と分離する。
- ・ 大壁部分が躯体と分離した後、面外崩落する際の現象は、アスペクト比の大きい土塊が転倒する現象に近い。

図4のように躯体と大壁部分との力のやり取りを考える。大壁部分から躯体へ加わる抵抗力は、傾斜復元力の考え方をを用いて検討する。

加力方向のせん断力 Q^* は、面内方向のせん断力 Q に大壁

部分の傾斜復元力 ΔQ を加算して得る。

$$Q^* = Q + \Delta Q \quad (1)$$

$$\Delta Q = W t / (2 h) \quad (2)$$

ここで、大壁部分の重量は W 、大壁部分の厚みは t 、大壁部分の高さは h である。

厚さ方向の壁断面のアスペクト比が大きく、壁厚が大きい場合、傾斜復元力の増加する傾向があるため、躯体の水平抵抗力の向上に大きく寄与すると推察される。

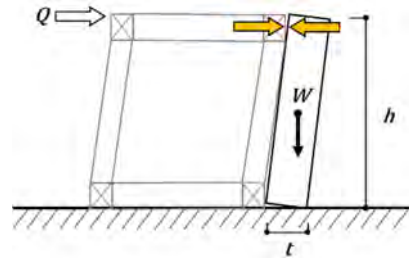


図2 大壁部分の傾斜復元力と躯体の関係

3. 荒壁の層での現象を確認するための実大架構実験

荒壁層で生じる破壊現象を理解するため、土壁の製作工程に応じて分けた実大架構を用いた静的加力実験を実施する。

3.1 試験体

図3(a)-(c)の試験体は単位フレームの土壁試験体 T1、貫試験体 T2、貫・小舞試験体 T3 の計3体とする。柱（スギ、E90、芯持ち）、桁（ベイマツ、E110、芯去り）、土台（ベイマツ、E110、芯持ち）、込栓（ベイマツ）、貫（ベイマツ）、楔（ベイ

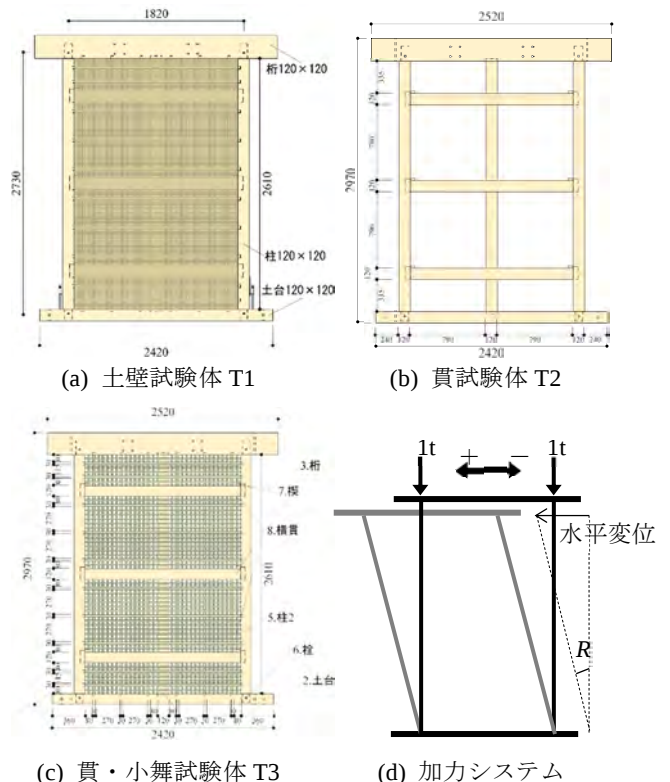


図3 架構試験体と加力システム

マツ), 間渡し竹 (割竹), 小舞竹 (割竹) から構成され, 基本寸法は 1820mm×2730mm とする。柱頭柱脚は長ぼ込桤留めである。

3.2 加力・計測方法

試験体の土台は鉄骨架台にアンカーボルトで固定し, 各柱に 1t の上載荷重を与える。治具を介して桁に対して正負交番二回繰返加力を行う。層間変形角 R は頂部水平変位を試験体内法高さ 2610 mm で除した値として定義し, 1/120rad~1/5rad まで漸増させる。加力方向は紙面左側を正とする。

水平荷重は加力部のロードセルで計測し, 頂部水平変位はワイヤー変位計で計測する。柱頭と柱脚には変位計を 2 つずつ取り付け, 接合部回転角を計測する。各部材に向かい合わせてひずみゲージを貼付し, 部材の応力分布を把握する。また, ワイヤー変位計で土壁のせん断変形を確認する。

3.3 試験結果

貫試験体 T2 と貫・小舞試験体 T3 の試験体は分析中であるため, ここでは土壁試験体 T1 の結果のみ示す。

1) 破壊性状

水平抵抗力を喪失した正側 1/8rad と負側 1/8rad での土壁試験体 T1 の様子を写真 2 に示す。

負側 1/75rad 加力時に, 裏面の土壁中央にひび割れが生じ, 正側 1/50rad 加力時には表面の土壁中央にひび割れが生じた。負側 1/50rad では上部と下部の横貫に沿った形で両面の土壁

にひび割れが生じた。正側 1/8rad では裏面の土壁の概ねが剥落した。小舞がせん断変形することでこじれて壁土が剥落したように見える。

写真 3 に先行研究で実施した実大大壁試験体の大壁部分が脱落した後の様子を示しているが, これと同様, 小舞に最も近い荒壁土の部分から剥離していることがわかる。

2) 復元力特性・柱の曲げモーメントの進展

水平荷重一層間変形角関係を図 4 に示す。水平抵抗力は 1/50rad 付近で最大 13.46kN を示して以降, 緩やかに低下し, 1/8rad で喪失した。

層間変形角ごとのモーメントと損傷の進展図を図 5 に示す。貫の位置で曲げモーメントが変化していることがわかる。

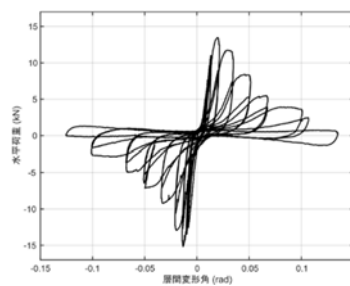


図 4 水平荷重一層間変形角関係

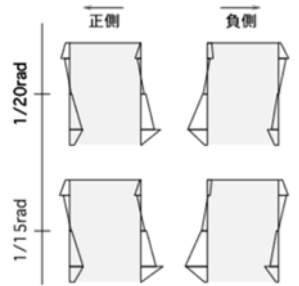


図 5 曲げモーメント



(a) 正側 1/8rad

(b) 負側 1/8rad

写真 2 土壁試験体 T1 の壁土の剥離



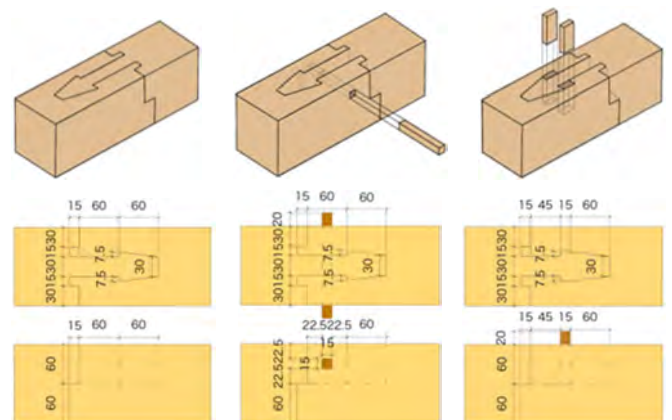
写真 3 実大大壁試験体の荒壁層からの壁土の脱落³⁻⁴⁾

4. 継手の引張実験

土壁架構には継手が設けられている部材が含まれる場合がある。架構を構成する要素として, 継手の栓の打ち方に応じた力学特性を明らかにするため, その初段階として鎌継ぎ接合部を対象とした引張実験を実施する。

4.1 試験体

試験体は図 6, 表 1 に示すように, 腰掛け鎌継ぎ試験体 A, これに側方から栓を打つ試験体 B, C (横栓), 上方から栓を打つ試験体 D, E (車知栓) の, 計 5 体とする。母材は全てスギとし, 栓はスギとカシの 2 種類を用意した。



(a) 試験体 A

(b) 試験体 B, C

(c) 試験体 D, E

図 6 試験体概要

表 1 試験体詳細

試験体	A	B	C	D	E
栓の樹種	—	スギ	カシ	スギ	カシ
栓の方向	—	側方	側方	上方	上方

4.2 加力・計測方法

アクチュエータ先端にロードセルを取り付け、治具を介して試験体を接続する。引張変位を 0.5mm 刻みで増加させる。

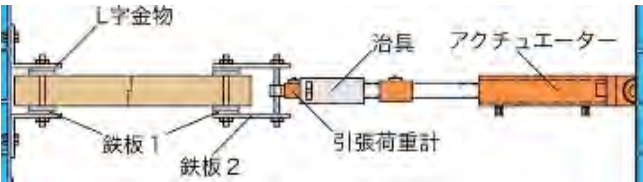


図 7 加力システム

4.3 実験結果

最大荷重などを表 2 に、得られた引張荷重－変位関係を図 8 に、破壊性状を写真 1 にまとめる。

栓の無い鎌継ぎ試験体 A は、唯一の力の伝達部分である鎌首において、男木のせん断破壊か女木の圧縮破壊が生じるのが一般的である。本実験においても、男木の鎌首部分でせん断破壊した。

横栓の試験体 B,C では、栓の位置での男木先端部分の端抜けが優先的に発生した。栓をスギとした試験体 B は剛性、耐力、変形性能全てにおいて A を上回ったのに対し、栓をカシとした C はいずれも A を下回った。

車知栓の試験体 D,E では鎌首部分に負担がかかった。試験体 D では女木、E では男木にせん断破壊が生じた。栓がスギ

表 2 引張実験結果

試験体	最大変位(mm)	最大荷重(kN)	主な破壊性状
A	4.6	12.3	鎌のせん断破壊
B	13.3	16.1	栓部分での端抜け
C	2.6	10.5	栓部分での端抜け
D	14.6	13.2	栓の圧縮破壊
E	4.7	10.1	鎌のせん断破壊

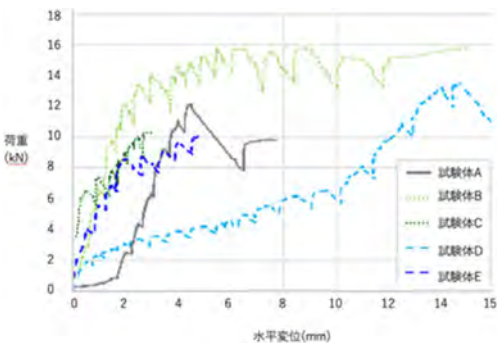


図 8 引張荷重－変位関係

の試験体 D は A に比べ剛性が極めて小さくなり、耐力、変形性能は上回った。栓がカシの C はいずれも下回った。

5. 実建物の構造調査

実大架構実験終了後に評価方法を提案し、実建物へ適用するために構造調査データを収集している。本研究の範囲内では山梨県、福島県の伝統構法の建物の調査を実施済である。

6. まとめ・今後の課題

本報では、躯体から壁土が分離後に剥落する破壊現象の詳細を解明することを目的とした実験・調査・評価方法の提案などを行った。

- a) 2024 年能登半島地震の土蔵の被害調査のデータを詳細に分析し、概ね、荒壁層もしくは小舞の層で破壊していたことや、特定の層に被害が集中しにくいことを確認した。また、梁間・桁行の変形方向を問わず、平行・直交の両構面で大壁に何らかの損傷が生じることなどをまとめた。
- b) 荒壁層での壁土剥離現象を理解するため、土壁試験体、貫試験体、貫・小舞試験体の実大倒壊実験を計画、遂行中である。土壁試験体の実験を終え、小舞のせん断変形に追従して周囲の壁土がこじれて剥落した可能性や、貫の挙動にも影響を受けている可能性を示した。

今後は、全ての実大架構試験体の分析を終え、小舞に接する荒壁土の破壊現象を考察し、壁土の剥離性状を設計値に反映することを目指している。

謝辞

本研究の一部は、松井角平記念財団 2024 年度研究助成（代表者：多幾山法子）の補助を受けた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 財団法人日本住宅木材技術センター：東日本大震災の被害調査報告, <https://www.howtec.or.jp/files/libs/1310/201710061357016986.pdf>, (2021 年 1 月 25 日参照)
- 2) 東京大学生産技術研究所腰原研究室、首都大学東京藤田研究室：平成 19 年能登半島地震被害調査報告（速報）Ver.4, <http://wood.iis.u-tokyo.ac.jp/jisin/070325NotoVer4.pdf>, (2021 年 1 月 25 日参照)
- 3) 千野詠子, 多幾山法子：喜多方市の伝統的な土蔵造建造物に用いる大壁の力学特性の解明（その 1）大壁の実大架構実験に関する実験計画, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.251-252, 2022.9.
- 4) 李嘎拉巴敦敦, 千野詠子, 多幾山法子：喜多方市の伝統的な土蔵造建造物に用いる大壁の力学特性の解明（その 2）大壁の実大架構実験に関する実験結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.253-254, 2022.9.
- 5) 千野詠子, 多幾山法子：喜多方市の伝統的な土蔵造建造物に用いる大壁の力学特性の解明（その 3）諸変位およびひずみに基づく分析, 日本建築学会関東支部研究報告集, 93(I), pp.381-384, 2023.2.
- 6) 千野詠子, 多幾山法子：喜多方市の伝統的な土蔵造建造物に用いる大壁の力学特性の解明（その 4）限界耐力計算に用いる復元力特性と剥落を考慮した重量低減の提案, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.217-218, 2023.9.
- 7) 2024 年能登半島地震の被害調査（1, 3, 4 月）, 報告書, https://saigai.aij.or.jp/saigai_info/20240101_noto/202340101_noto_eq.html
- 8) 月待友希, 佐藤雅大, 陳昕岩, 扇野智弘, 多幾山法子：2024 年能登半島地震被害調査に基づく土蔵の大壁によるせん断力への影響の検討, 日本建築学会関東支部研究報告集, 95(I), pp.297-300, 2025.3.

東京大学大学院工学系研究科建築学専攻
技術専門職員 角田真弓

1. 研究概要

本研究は寛政度御造営の建築史料である 1) 宮内庁所蔵資料による御清所御台所の復元、2) 未公開資料である東京大学所蔵『禁裏諸御殿建地割図五十分之一』のデジタル化と分析を中心に進めてゆき、各史料の持つ特質を踏まえて解説を進め、寛政度御造営の実態を再検討する。

2. 京都御所寛政度御造営の解説・分析・復元

2019 年より継続して参加している日本建築史研究者・日本史研究者・大学院・有志ら 15 名程度による月 1 回の史料精読会において、本研究の中心となる解説・分析・復元考察を行った。この精読会において「中井家文書」（宮内庁所蔵）寛政度御史料のうち御台所の仕様書精読を進め、関連資料である京都大学所蔵絵図や類似する建築の情報などを用い、情報の精査および復元的考察を試みた。その成果は 2025 年 12 月 7 日に京都府立京都学・歴彩館（京都市）において開催された国際研究集会『御所（宮殿）・邸宅造営関係資料の地脈と新天地』において報告をおこなった。研究集会における報告概要は以下の通りである。（詳細は研究集会報告書にて報告する）

本研究の基盤となる中井家文書の精読会は 6 年目を迎え、いくつもの文書史料を精読することで、近世建築関係史料（絵図を含む）に関する全体的な構図を理解する上で不可欠な特質を整理することができた。

①文書史料の特質 従来は見積書、木積書、仕様書、本途帳など呼称による分類はおこなわれていたが、性質の違いは十分に検討されていなかった。本精読会をとおして、作成の目的（どの段階で、どこに提出するのか）、相互関係（見積書、木積書、仕様書の関係など）などが明らかとなり、建設行為における位置づけを明らかにすることができた。

②絵図史料との関係 絵図（図面）史料は比較的早い段階から注目をされていたが、個別建築を扱う研究が大半であった。本精読会において、文書史料と突き合わせ内容を分析することで、より具体的に絵図史料を解説できることが明らかとなった。また、①同様に作成の目的、相互関係という観点で絵図史料を整理することが可能となった。

3. 東京大学所蔵絵図・図面資料の分析

東京大学大学院工学系研究科建築学専攻は多数の大工技術書、雛形本等（以下、便宜上、大工技術書と総称する）を所蔵する。蔵書印および旧台帳を元に先行研究を踏まえ考察をすると、本資料群は明治10年以前の工学寮時代に収集が始まるが、その後、工部大学校、工科大学時代にも継続的に資料の収集が行われ、現在の資料群を形成することとなったと考えられる。一例を挙げるならば、著名な『匠明』であるが、明治43年に平内史料（木割書、絵図、絵様集など40点）と共に購入されたものであり、資料自体は初期段階の技術書であるが、本資料群のなかでは比較的新しく加えられたものであると言える。

以上の経緯により形成された資料群であるが、初めて群として紹介がされたのは、内藤昌氏の論文¹であり、その後一部の技術書は『日本建築古典叢書』²において校訂付の図版が紹介された。また幕府作事方大棟梁を継承した平内家の秘伝書とされる『匠明』は伊藤要太郎³氏により解題付翻刻が出版されている。このように、いくつかの資料は図版と共に紹介がされているが、全貌は未だ紹介をされていない。

今回この資料群のうち、京都御所に関わる史料を中心にデジタル化し内容の精査をおこなった。具体的には京都大学所蔵中井家絵図、重要文化財「大工頭中井家関係資料」や現在までに精読をおこなった中井家文書などと対照することで、この建地割図の内容分析を行う。さらに史料的特質や所蔵の経緯などを考察する。

1) 『禁裏建物 作事方品々絵図』（0300_20）



図1 『禁裏建物 作事方品々絵図』表紙（0300_20_001）

和綴じ本、21 枚、墨書。外題が書かれているのみで筆者、年記、奥書などは記されていない。また東京大学の蔵書印、蔵書ラベル等もなく、いつの時点で東京大学が所蔵することになったのか不明である。

内容は各部分図であり、どの建築の部分であるか記されていない。寸法も一切なく部材名のみ書かれる。禁裏建物に限らず、三手先尾垂木組物や大瓶束など京都御所とは直接関連がないと思われるディテール図が確認できる。恐らくは何らかの絵図の写本と考えられる。

2) 『禁裏諸御殿建地割五十分之一』(0300_21)

「天」「地」2 巻で構成される卷子本、墨書。外題が書かれているのみで筆者、年記、奥書などは記されていない。明治 29 年 6 月 26 日付けの帝国大学図書館登録印がある。「地」巻冒頭に「天明八申年焼失二付寛政元酉二戌年御造営」と書かれており、寛政度御造営の絵図であると考えられる。

内容は「天」は建地割図、「地」は建地割図と柱周りの細部寸法、金物図で構成される。建地割図は墨で立面情報が、朱で小屋組など内部の断面情報が書かれており、寸法も適宜書かれる。全体的に精緻な図面であり、保存を目的とした絵図であることが解る。

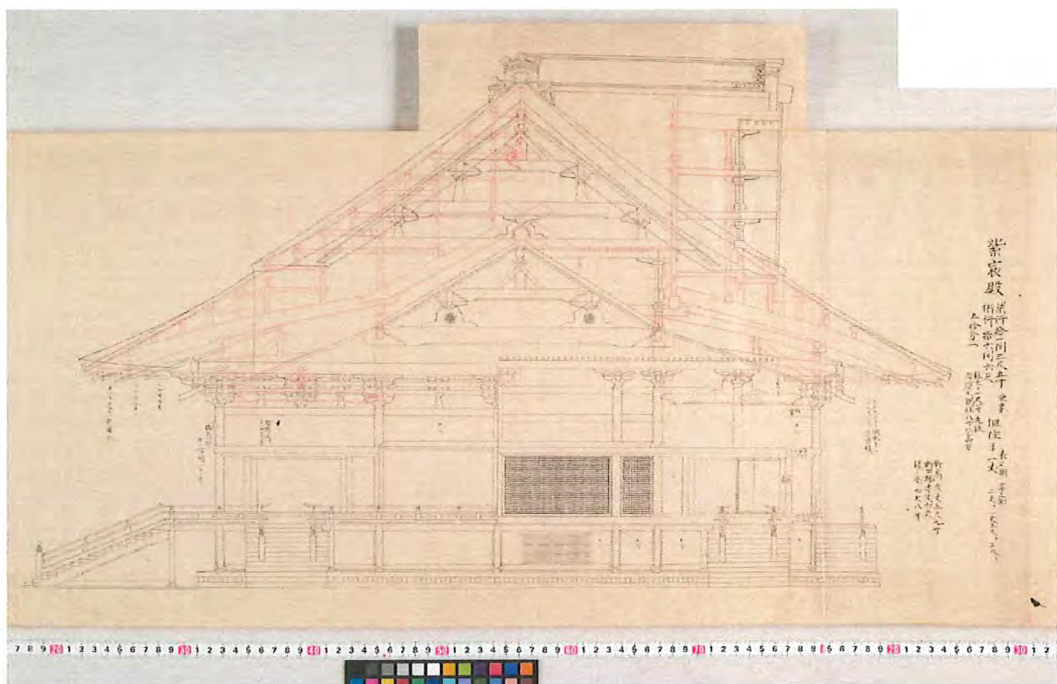


図1 『禁裏諸御殿建地割五十分之一』紫宸殿 (0300_21_01_002 と 004 を結合)

「天」には主要建築や境界装置である塀・門の建地割図が、「地」には常御殿を中心とする奥向きの建築の建地割図が記されていることが解る。さらに、接合部である廊下との取合などが多く描かれていることから、実務的な性質を有す絵図であると考えられる。本絵図の詳細な分析は今後の課題であるが、寛政度御造営にかかる他の絵図や仕様書など文献史料とともに解読を進めることで、近世における御所御造営の実態が、より具体的に解明されるものと期待される。

¹ 内藤昌「大工技術書について」『建築史研究』30,昭和36年10月

² 『近世建築書 座敷雛形』第5巻,昭和60年、『近世建築書 堂宮雛形』第3巻,昭和63年、『近世建築書 絵様雛形』第9巻,平成3年、『近世建築書 工法雛形』第8巻,平成5年、大龍堂書店

³ 伊藤要太郎『匠明』鹿島出版会、昭和46年。伊藤要太郎は、後に尾張藩作事方であった工匠伊藤平左エ門の第12代を襲名

木造建築遺産におけるオーセンティシティに関する研究（継続研究）

概要

京都工芸繊維大学 准教授 マルティネス アレハンドロ

1. 研究の背景と目的

建築遺産の保存においては、オーセンティシティ（価値が本物であることを示す指標）が中心的な概念とされているが、その具体的な定義と証明方法は必ずしも明確ではない。石造建築を念頭において組み立てられた西洋の保存論では、オリジナルの材料が建物に残されていることがオーセンティシティを証明する上での最も重要な根拠とされてきた。一方、日本の木造建築の場合には、腐朽や破損により材料の取り替えが不可欠である。さらに、式年造替のように、材料の更新を前提とした特有な継承手法もみられる。そのため、西洋のオーセンティシティ概念を直接に日本の木造建築遺産に適用することは妥当ではないと思われる。

本研究では、オリジナルの材料を中心とした従来の枠組みをのり越えて、木造建築遺産の特質と多様性に即した新たなオーセンティシティ概念を考案することを目的とする。その際には、文化財建造物の保存修理のみならず、式年造替や失われた建築の復元など、日本における多様な木造建築の継承方法を包括的に捉える。さらに、建造物の保存とともに、伝統的な建築技術の継承を考慮に入れて、木造建築遺産の有形と無形の両側面を意識した、木造建築遺産固有のオーセンティシティ概念を一から組み立てることによって、オーセンティシティに関する国際的な議論に日本から寄与することを目指す。

2024 年度の研究において、木材の性質から来る木造建築特有の性格を強く意識し、変化と介入という二つのキーワードから木造建築の存続のための多様な手法について、マッピング作業を進めた。2025 年度には、研究対象となる日本における木造建築遺産の保存・継承の特徴的な事例について、以下のとおり類型化を行った。

- ①建造物修理
- ②修理技術
- ③反復的建て替え
- ④失われた建物の復元
- ⑤写しと移し
- ⑥周期的仮設

各類型の事例について、a. 史資料等による保存・継承方法の情報整理と分析、b. 現地調査、を実施した。分析においては、建造物自体とともに、保存・継承のシステム、保存技術、材料の確保といった諸側面に視野を向け、有形と無形の両側面を横断的に取り扱った。

上記の事例分析の成果を『続・木造建築遺産のオーセンティシティ事例調査報告書』として

2026 年 3 月に発表した。ここでは、「①建造物修理」に関する分析の視点を提示するとともに、「③反復的建て替え」の一例である「アニヤナ塩田」の概要について紹介したい。

2. 木造建造物の修理におけるオーセンティシティ

本章では、文化財として指定されている木造建造物の修理におけるオーセンティシティについて、日本と海外の事例の分析をとおして考察する。

木造文化財建造物の修理では、劣化した古材の取り替えは避けて通れない課題である。

古材には多くの情報が刻まれているため、基本的には古材の残存が文化財としてのオーセンティシティを担保する重要な指標の一つとされている。この考え方は、日本でも海外でも共通しており、古材を最大限に保存することは、文化財建造物保存において国際的に広く適用されている根本的な原則の一つである。

しかし、劣化により、本来の構造的な機能を果たせなくなった場合、修理の際に古材を新材に取り替えることが多い。石や煉瓦で造られた建造物の場合でも、劣化した古材が取り替えられることが多いが、木造建造物の場合には、腐朽菌や害虫など、生物的な要素による劣化が早いため、他の材料で造られた建造物よりも取り替え率が高くなる傾向がある。文化財としてのオーセンティシティは、古材の残存によって担保されているとすれば、取り替え率が上がるとオーセンティシティが損なわれることになる。

日本の木造文化財建造物の保存において、破損状況が深刻の場合、建造物を構成する部材を一旦分解して、劣化した部材の補修や取り替えを行ったうえで再び組み直すという解体修理が行われることが多い。その場合、古材の取り替え率は概ね3分の1程度に及ぶと言われている。ただし、破損は基本的に建造物の外廻りや小屋組に集中し、風雨から守られた内部については劣化が少なく、古材の残存率が高い。そのため、大規模な根本修理が幾度も行われた建造物の場合でも、構造の中核をなす部分については、古材が高い割合で残存することが多い。

海外でも木造文化財建造物の解体修理と劣化した古材の取り替えが行われた事例が多く見られる。例えば、ロシア・キジ島の教会の解体修理では、日本と同様に古材のおおよそ3分の1が取り替えられたと報告されている。

古材の取り替えはオーセンティシティを損なう行為だとしても、建造物の存続を確保するためには不可避だと判断された場合、限定的に容認せざるを得ないだろう。おそらく、取り替え率は3分の1程度以下であれば、日本でも海外でも許容範囲内と認められるであろう。

しかし、この取り替え率を大きく上回っている事例も見受けられる。日本の場合には、自然環境および使用された木材の材種・材質によって、古材の劣化が特に早い建造物が存在する。例えば、昨年度の報告書で紹介した増田家住宅表門の修理において、害虫による破損が激しく、古材の73%が取り替えられた。また、本章で取り扱う根津神社本殿のように、災害によって多くの古材が失われた事例もある。

海外においても、特に自然環境が厳しい国では、多くの古材を取り替える必要が生じる。また、パリのノートルダム大聖堂および本章で紹介するソールの崇礼門のように、火災によって多くの古材が失われた建造物もある。

古材の取り替えをどの範囲まで許容できるだろうか。一定の取り替え率を超えると、古材の残存によってオーセンティシティを担保することができなくなり、建造物はオーセンティックなものからレプリカに変わってしまう。その場合、建造物の文化財としての指定が解除されるはずである。しかし、その判断を行うための基準が必ずしも明確ではない。古材がなくなった原因とその経緯、建造物の文化的文脈などの条件によって、判断基準が異なる可能性もある。本章では、古材の取り替え率が特に高い修理事例を分析し、そのオーセンティシティに関する判断基準を明らかにすることを試みる。

一方、古材を取り替える際には、新材を古材と同種・同質のものにし、同様の道具と技術で加工するという原則が存在する。この原則は日本の木造文化財建造物保存では古くから守られており、ICOMOS木の国際委員会によっても提唱され、国際的に広く適用されている。

日本では、古材が取り替えられても、上記の原則を守ることによって、古材に刻まれていた情報を幾分新材に移すことができると考えられている。すなわち、伝統的な材料と技術を使用することによって、古材の取り替えによるオーセンティシティの損失をある程度軽減できる、という考え方である。

しかし、海外のいくつかの事例においては、この原則に対して、日本と多少異なる姿勢が見られる。古材に刻まれている技術的な情報を継承するだけでなく、伝統的な建築プロセスを再現することによって、新材に一種のオーセンティシティを与える、という考え方である。この場合には、日本のように、木材の表面仕上げのみに伝統的な道具を使うのではなく、杣で木材を伐採するところから伝統的な道具や技術を使用し、できる限り忠実に建築プロセス全体を再現することに努力が注がれる。古材の取り替えによって失われる有形の側面のオーセンティシティを補うために、無形の側面で新しいオーセンティシティを生み出す、という試みかもしれない。昨年度の報告書で紹介した、ノルウェーにおける「プロセスのオーセンティシティ」や、本章で分析するソールの崇礼門には、この考え方が反映されている。

ところが、「古材を最大限に保存する」原則と、「修理の際に伝統的な技術を使用する」原則は、相反する場合がある。例えば、本章で紹介する応県木塔の事例では、伝統的な技術を使用して修理が行われる場合、多くの古材を取り替える必要が生じると想定されている。一方、鉄骨補強など、近代的な技術を使用すれば、古材を最大限に保存することが可能になるが、自立した木造建造物としての本質が失われる危険性が生じる。相反する価値観がある中で、オーセンティシティを守るために、どの原則を優先するべきかは、必ずしも明確ではない。

上記のように、木造文化財建造物のオーセンティシティについて、いまだに多くの課題が残されている。今後も、さらなる事例の分析と比較検討によって、このような課題に対する理解を深めていきたい。

3. アニャナ塩田：常に変化する遺産のオーセンティシティ

アニャナ塩田はスペイン北部のバスク地方に所在する伝統的な製塩施設である。海水から塩を生産する海沿いの塩田と異なり、アニャナ塩田は内陸にある三角形の溪谷に広がる。かつてこの一帯は海に覆われていた影響で、地下に広大な岩塩の層が残っている。岩塩は雨水によって

溶かされ、溪谷南側の高地にある五つの天然の泉から塩分を含んだ鹹水が湧く。鹹水は、木の樋のネットワークによって溪谷の各所に造られた貯水池に流れ込む。鹹水は貯水池に一時的に保管され、夏季に塩の生産を行う際に塩田に張られる。塩田自体は、棚田のように自然の斜面を水平に削って、地形に合わせて造られている。さらに、狭い溪谷のなかで、少しでも塩田の面積を増やすために、傾斜の強いところなど必要な場所では、木の構造物を造り、その上に板床を張って水平面を確保する。木の構造物は井桁に組んだ土台、柱、筋交い、桁、梁、根太から構成されており、部材同士は比較的単純な継手仕口で接合される。木材として、周辺の森林で伐採された松材が使用され、粘土も現地で採取される。

アニャナ塩田に湧く鹹水の塩分濃度は高いため、夏季に鹹水を塩田に張り、天日で水分を蒸発させるのみで塩田の表面に塩が結晶する。塩を採り出す職人は専用の道具を使用して結晶した塩を集め、塩田の床の穴から塩を落とし、床下の倉庫で乾燥させながら保管する。

上記のアニャナ塩田の構造物と製塩技術は、常に変化しながら現在まで継承されてきた。20世紀後半に工場における近代的な製塩法が主流になると、アニャナ塩田は次第に衰退し、20世紀末にはほぼ廃業状態となった。ところが、21世紀に入ると、アニャナ塩田は文化遺産として認識されるようになり、伝統的な製塩技術による製塩が復活した。現在まで使用されてきた材料や技術は概ね一貫しているが、各時代の製塩業の状況に合わせて、塩田、樋、貯水池、倉庫など各要素の具体的な位置や形状が変わり、製塩職人によって適宜維持修理や増改築が行われてきた。

2000年代に、アニャナ塩田を保存するための具体的な方法が専門家によって本格的に検討されるようになった。議論を重ねた結果、アニャナ塩田を廃墟化した状態で凍結保存するのではなく、構造物を健全な状態に戻し、製塩活動を復活させる方針が決定された。アニャナ塩田の文化的意義を後世に伝えるためには、構造物を保存するだけではなく、そこで行われていた活動も継承されるべきだと判断されたからである。伝統的に行われてきとおり、構造物を使用しながら常に維持修理することによって保存することが望ましいとされた。すなわち、アニャナ塩田における製塩活動という無形の要素を復活させることは、有形の構造物を保存するための最適な方法であると判断された。上記の方針に基づいて、まず樋のネットワークが修理され、アニャナ塩田の全域に再び鹹水が流れ込むように整備された。

アニャナ塩田では、構造物を修理や増改築する際、健全な部材が再利用され、劣化した部材が取り替えられてきた。その結果、200年以上経た部材はほとんど残っていない。現存する最も古い部材は、常に鹹水によって守られている樋を構成する丸太で、一部は18世紀末のものが残っていると考えられている。このような古材には貴重な情報が刻まれており、重要な資料として今後も極力保存する必要がある。また、過去にアニャナ塩田で使用されていた材料や技術の物質的な証拠として、部分的にオーセンティシティを担保する要素でもある。しかし、アニャナ塩田を構成する構造物の材料のほとんどが常に更新されてきたため、古材のみではそのオーセンティシティを証明することができない。一方、当初から現地で入手可能な木材、石材や粘土が使用されており、材料を更新する際には、基本的にはかつてと同様の材料が使用されてきた。これはアニャナ塩田における基本的な原則の一つであり、この原則を守ることによってオーセンティシティが担保されてきたともいえる。

社寺建築物に用いられる継手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 教授 宮本慎宏

1. 序論

社寺建築物の耐震性能評価を行うためには、各耐震要素を精確に評価する必要がある。木造軸組架構は様々な要素から構成されるが、その中には継手のような架構の弱点となりうる要素も含まれており、このような弱点が架構全体の耐震性能に及ぼす影響を明らかにする必要がある。

本研究では、主に柱脚が腐食した際の根継ぎなどに使用される金輪継手を対象とし、金輪継手を有する柱試験体の構造性能評価を行うことを目的とする。

2. 実験概要

既往研究¹⁾に基づき金輪継手の寸法を決定し、実大試験体を作製して曲げ試験を行う。図1に金輪継手詳細図を示す。試験体の樹種は母材(180×180 mm)をヒノキ、込栓(21×27×21 mm)をカシとし、継手長さを400 mm、目違い幅を21 mm、へそ幅を45 mmとする。

試験は継手の有無と加力方向をパラメータとし、継手なし(M 試験体)、継手あり弱軸回り(MJ 試験体)、継手あり強軸回り(MK 試験体)の3種類とし、各仕様3体の計30体行った(表1)。

試験体詳細図を図2に示す。載荷方法は、スパン長さ3000 mmの3等分4点曲げとし、支点から1000 mmの位置から2カ所で載荷した。変位計は、試験体中央・載荷点・継手両端部の計5カ所の相対する2面とし、ひずみゲージは載荷点と継手端部の中心位置の上下の計4カ所とした。なお、継手位置は試験体中央とした。

3. 実験結果

3.1 荷重変形関係と破壊性状

図3に曲げ試験の荷重変形角関係、図4にその破壊性状を示す。横軸の変形角は、試験体中央の変位計CH9、10の変位の平均値から、左右の載荷点の変位計CH1、5及びCH4、8の変位の平均値を引いて、載荷点から中央までの長さ500 mmで除し、2倍することで求めた中心位置における値である。

M 試験体では、M-1、M-3で曲げ破壊、M-2でせん断破壊が起こった。M-1、M-3では、初期の破壊として、変形角0.010 rad以降に図4(a)に示すような載荷面中央付近の圧壊を確認した。圧壊発生後は剛性の低下が見られたが荷重は低下しなかった。それぞれ、変形角0.040 rad、0.060 rad付近で最大荷重に達し、試験体下面で図4(a)に示すような割裂が発生し荷重が低下した。

MK 試験体では、MK-1は0.030 rad付近、MK-2、MK-3は0.020 rad付近で図4(b)の上部に示すような鎌先端での割裂が発生し、次に、へそとその受け側の接合部で割裂が発生した。このへそ接合部の割れは、図4(b)下部、(c)に示すように、へそ側に発生する割れとへその受け側に発生する割れの2種類が確認され、荷重が低下した。最大荷重後は図4(d)に示すような試験体下面側の腮から目違いにかけての割裂が発生し、破壊の進行に伴って荷重が低下した。

MJ 試験体では、MJ-1、MJ-2は0.014 rad付近、MJ-3は0.008 rad付近で図4(e)に示すような目違い接合部の受け側に割裂が発生し、次に目違い側下部に割裂が発生した。このとき、剛性は低下せず荷重は上がり続けた。その後、最大荷重前にMJ-1は0.015 rad付近、MJ-2、MJ-3は0.023 rad

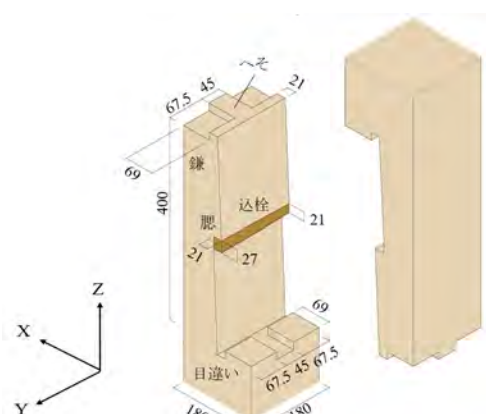
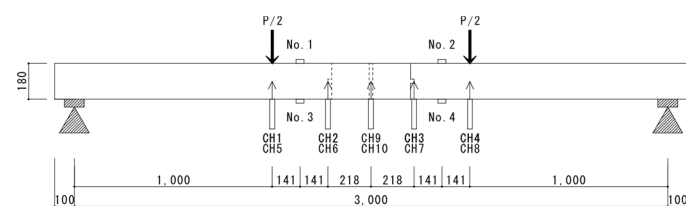


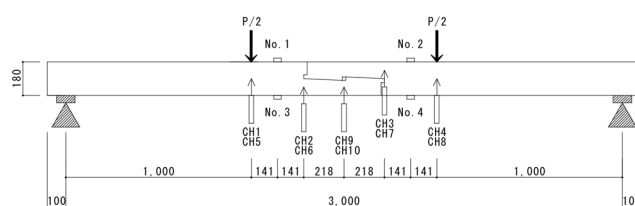
図1 金輪継手詳細図

表1 曲げ試験体一覧

実験名	試験体名称	継手の有無	載荷方向	数量
曲げ試験	M	無	-	3
	MK	有	X軸回り	3
	MJ	有	Y軸回り	3



(a) MK 試験体



(b) MJ 試験体

図2 試験体詳細図

付近で図 4(f)に示すような腮から目違いにかけての割裂が発生し、最大荷重後はそれぞれの割れが進行し、荷重が低下した。

3.2 低減率

表 2 に各試験体の特性値一覧、密度及び特性値の低減率を示す。低減率は、継手なし試験体に対する継手あり試験体の特性値の比率である。なお、せん断破壊が発生した M-2 試験体の特性値は除外して平均化した。表 2 より、曲げ試験の低減率は平均して、MK の曲げヤング係数が 42.6 %、曲げ強度が 20.9 %、MJ の曲げヤング係数が 26.8 %、曲げ強度が 11.0 % となり、弱軸は強軸と比較して、曲げヤング係数は約 0.629 倍、曲げ強度は約 0.548 倍に低下した。

4. 復元力特性の推定式

4.1 強軸曲げ

実験結果に基づき、強軸曲げが生じたときの主要な損傷及び力学モデルを図 5 に示す。変形に伴い上下のへそとその受け側で等変位めり込み（めり込み①）が発生し、上材と下材が互いにめり込む。また、鎌先端の、回転中心軸を境に圧縮を受ける側では、圧縮力とそれに伴う摩擦力が生じる。これにより、鎌先端での割裂が誘発される（割裂 1）。また、引張を受ける側では、腮による込栓のめり込み

（めり込み②）が生じるとともに、腮から目違いにかけての鎌のせん断破壊が推定される。さらに、へそと受け側間ではめり込みにより鎌先端で割裂が発生する（割裂 2）。

以上を踏まえ、既往の評価式²⁾に基づき復元力特性を推定する。まず、回転中心軸 y_p [mm] を式(1)により算出する。

$$y_p = \frac{\sqrt{W}(\sqrt{W} - \sqrt{2\alpha e})}{W - 2\alpha e} H \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{k_2}{e k_1} \quad (2)$$

ここで、材せいを H [mm]、材幅を W [mm]、母材腮部分の繊維方向面圧と栓の全面横圧縮による合成面圧定数を k_2 、母材胴付き部分の繊維方向面圧定数を $e k_1$ [N/mm³]、 $e k_1$ に対する k_2 の比を α (式(2))とする。

また、初期剛性は式(3)により算出する。

$$K_R = \frac{e k_1 \{8\alpha e y_p^3 + 4W(H - y_p)^3 + 3\mu L W(H - y_p)^2\} + 12K_n L^2}{24} \quad (3)$$

ここで、継手長さを L [mm]、摩擦係数を μ 、へそとその受け側の合成めり込み剛性を K_n [N/mm] とする。本試験では、材せい H = 材幅 W = 180 mm、込栓幅 e は 21 mm、込栓せい e' はテーパをかけた 21~27 mm の平均値である 24 mm、継手長さ L は 400 mm、摩擦係数 μ は滑り摩擦しか

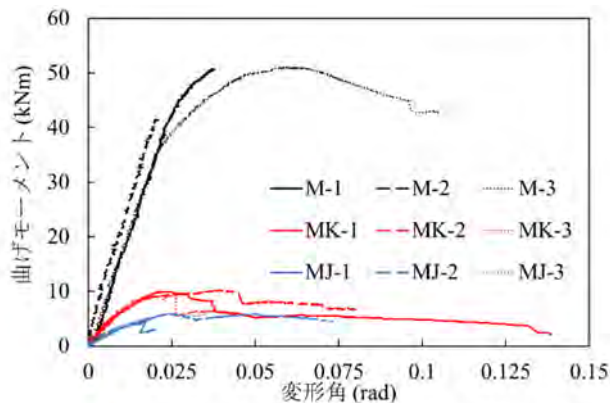


図 3 曲げモーメントー変形角関係

表 2 特性値一覧と低減率

項目	ヤング係数 [kN/mm ²]	平均値 [kN/mm ²]	強度 [N/mm ²]	平均値 [N/mm ²]	密度 [g/cm ³]	低減率 [%]	
						ヤング係数	強度
M-1	12.6	12.6	51.4	51.6	0.525	-	-
M-2*	13.9		42.3		0.519		
M-3	12.7		51.8		0.510		
MK-1	5.52	5.38	10.2	10.4	0.515	43.7	19.8
MK-2	5.22		10.5		0.514	41.3	20.4
MK-3	5.40		10.4		0.497	42.8	20.1
MJ-1	3.37	3.39	4.93	5.68	0.511	26.7	9.56
MJ-2	3.25		6.10		0.535	25.7	11.8
MJ-3	3.54		6.01		0.495	28.0	11.6



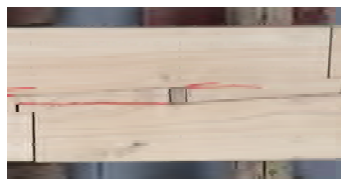
(a) 曲げ破壊
(M 試験体)



(b) へその受け側の割裂
(MK 試験体)



(c) 鎌先端及びへそ側の割裂
(MK 試験体)



(d) 腮から目違いにかけての割裂
(MK 試験体)



(e) 目違い接合部の割裂
(MJ 試験体)



(f) 腮から目違いにかけての割裂
(MJ 試験体)

図 4 曲げ試験体破壊性状

期待できないことから 0.4 とする。

降伏曲げモーメントは、割裂 1 による発生モーメント M_{f1} [kNm] (式(5)), 割裂 2 による発生モーメント M_{f2} [kNm] (式(6)), 腮から目違いにかけての鎌のせん断破壊による発生モーメント M_s [kNm] (式(7))の最小値となる(式(4))。

$$M_y = \min [M_{f1}, M_{f2}, M_s] \quad (4)$$

$$M_{f1} = \sqrt{\frac{5K_\theta G_f G W L}{3\mu_E k_1 (H - y_p)^2 \left\{ \frac{1}{H - y_p} - \frac{1}{H} \right\}}} \quad (5)$$

$$M_{f2} = \sqrt{\frac{5K_\theta G_f G W^2 L}{12 \left\{ K_n L + \frac{\mu_E k_1 W (H - y_p)^2}{4} \right\} \left\{ \frac{2}{H - q} - \frac{1}{H} \right\}}} \quad (6)$$

$$M_s = K_R \frac{(L - e)x_s + 2(e + g)(L - e + 2j)}{k_2 ex_s (2y_p - x_s)} F_s \quad (7)$$

ここで、へそ幅を q [mm] , 目違い幅を g [mm] , 目違い高さを j [mm] , 母材のせん断弾性係数を G [N/mm²] , 破壊エネルギーを G_f [J/m²] , 母材のせん断強度を F_s [N/mm²] , せん断破壊が生じる領域幅を x_s [mm] とし、せん断力係数 G は $E/15$ を用いる。

推定式による降伏曲げモーメントの算定を行った結果を表 3 に示す。割裂 2 による発生モーメント M_{f2} が最小値となり、降伏曲げモーメント M_y は 9.34 kNm, 初期剛性 K_θ は 1.68×10^3 kNm/rad, 降伏回転角 θ_y は 5.58×10^{-3} rad となる。

4.2 弱軸曲げ

実験結果に基づき、弱軸曲げが生じたときの主要な損傷及び力学モデルを図 6 に示す。変形に伴い上下の目違いで三角形めり込みが発生し、上材と下材が互いにめり込む(めり込み①, ③)。

以上を踏まえ、既往のめり込み基準式³⁾を用いて復元力

特性を推定する。上下の目違いそれぞれにおいて、三角形めり込みにより圧縮力 N_1 , N_3 [kN], 曲げモーメント M_1 , M_3 [kNm] が発生し、また、上材と下材の間には摩擦力 μN_1 , μN_3 [kN] が作用する。ここで、母材同士が互いにめり込む箇所では作用反作用の法則を考慮し、めり込みの生じる奥行き方向の余長が異なる箇所はそれぞれ分けて計算し、並列バネとして足し合わせる。さらに、込栓部では、母材の断面寸法と等しい長さで上下面に三角形めり込み(めり込み②)が発生し、継手上材側には圧縮力 N_2 [kN] , 曲げモーメント M_2 [kNm] , 摩擦力 μN_2 [kN] が発生する。回転中心 O を基準に接合部回転角 θ が生じると仮定し、回転中心 O から圧縮力と摩擦力までの距離を a_i , b_i ($i = 1, 2, 3$) とすると、降伏曲げモーメント M_y [kNm] は、回転中心 O まわりのモーメントの釣り合いを考えることで求めることができ、式(8)により表せる。

$$M_y = \sum (a_i N_i + b_i \mu N_i + M_i) \quad (i = 1, 2, 3) \quad (8)$$

また、降伏回転角 θ_y [rad] は、各めり込み位置における降伏回転角を、各めり込み位置における曲げモーメントの大きさによる重み付けで補正し、足し合わせることで算出する(式(9))。

$$\theta_y = \sum_i \frac{M_i}{M_y} \theta_i \quad (i = 1, 2, 3) \quad (9)$$

初期剛性 K_θ [kNm/rad] は、降伏曲げモーメント M_y と降伏回転角 θ_y を用いて式(10)により算出する。

$$K_\theta = \frac{M_y}{\theta_y} \quad (10)$$

さらに、実験結果から、目違い接合部の受け側に発生した割裂の破壊時の荷重を Gustafsson の切欠き材の強度算定式³⁾(式(11)(11))を用いて推定する。

$$\frac{V}{b(ad)} = \frac{\sqrt{G_f/d}}{\sqrt{\frac{0.6(\alpha - \alpha^2)}{G}} + \beta \sqrt{\frac{6(1/\alpha - \alpha^2)}{E}}} \quad (11)$$

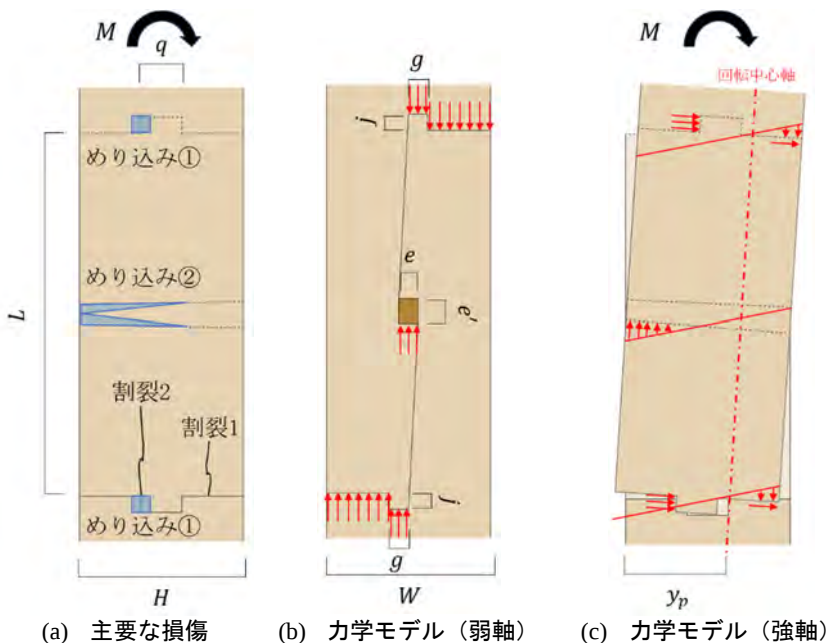


図 5 強軸曲げ推定式概要

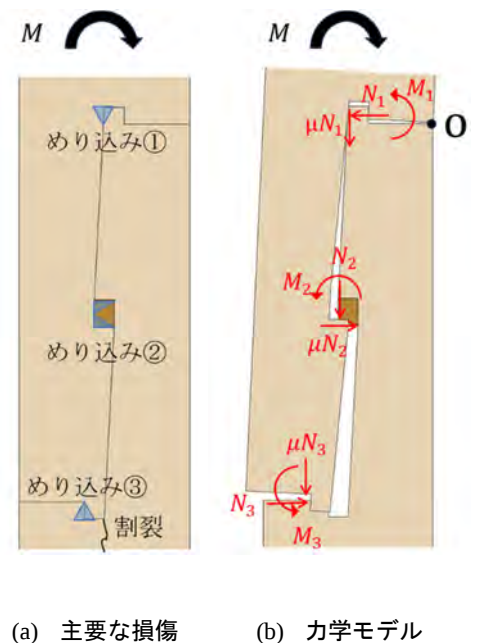


図 6 弱軸曲げ推定式概要

ここで、目違いに作用する割裂破壊荷重を V [kN]，破壊エネルギーを G_f [J/m²]，せん断弾性係数を G [N/mm²]，母材の繊維方向ヤング係数を E [N/mm²]とする。また， d は材せいとし180 mm， ad は鎌の厚さとし90 mm， βd は目違いを含む継手長さとし436 mmとする。

以上より，初期剛性 K_θ は224 kNm/rad，降伏回転角 θ_y は0.0238 rad，降伏曲げモーメント M_y は5.33 kNmとなる。

5.実験値と推定値の比較

強軸曲げ試験では，初期の破壊として鎌先端での割裂，及びへそとその受け側での割裂が発生し，最大荷重後は試験体下面側で腮から目違いにかけての割裂が発生した。これらの破壊性状は，推定降伏曲げモーメントの算定における割裂1による発生モーメント M_{f1} ，割裂2による発生モーメント M_{f2} ，腮から目違いにかけての鎌のせん断破壊による発生モーメント M_s とそれぞれ対応している。図7(a)より，初期剛性は推定値が実験値を上回り，降伏時の接合部回転角，降伏モーメントは実験値が推定値を上回った。実験結果と推定値の差異の要因として，以下の3点が挙げられる。1点目は，実験では変形の進行とともに継手が開いたが，推定式ではこの開きを考慮しておらず，推定式におけるへそとその受け側のめり込み面積に比べ，実際にめり込んだ面積が小さかったことが考えられる。2点目として，実験における回転中心軸位置 y_p が推定値を上回ったことが考えられる。推定式では，割裂1の発生位置を回転中心軸としており， $y_p = 122$ mmと算出されたが，実験では推

定値より柱の外側で割裂1が発生した。これは，1点目と同様に，継手が開いたことにより，鎌先端での継手の接触幅が小さかったためと考えられる。3点目は，へそとその受け側の合成めり込み剛性 K_n の推定において，横圧縮ヤング係数の木目による影響を考慮していないことが考えられる。推定式では，半径方向の横圧縮ヤング係数を用いたが，実際の木目を確認すると接線方向に圧縮されていた。

弱軸曲げ試験では，初期の破壊として目違い接合部の受け側に割裂が発生し，次に目違い側下部に割裂が発生した。その後，最大荷重前に腮から目違いにかけての割裂が発生した。図7(b)より，初期剛性はすべての試験体で実験値が推定値を上回り，降伏時の接合部回転角及び降伏モーメントは，MJ-2，MJ-3で実験値が推定値を上回り，MJ-1で下回った。また，目違い接合部の受け側に発生した割裂の割裂破壊荷重の検討については，MJ-1，MJ-2で実験値が推定値をわずかに上回り，MJ-3で下回ったが，破壊荷重値としては概ね一致する結果となった。

6.まとめ

本研究では，金輪継手を有する柱試験体の曲げ試験を行い，構造性能及び継手の有無による各特性値の低減率を把握した。また，金輪継手の復元力特性を推定し，推定値と実験値の比較から推定式の妥当性を検証した。

謝辞

本研究は公益財団法人松井角平記念財団の助成金による補助を受けて実施されました。実験の実施に関しては香川大学及び近畿職業能力開発大学校の学生にご協力いただきました。ここに謹んで深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 多幾山法子，戸川楓子，千野詠子：既存木造区体への根継ぎが力学特性と固有振動数に与える影響，日本建築学会構造系論文集，第88巻，第810号，pp.1262-1272，2023.08
- 2) 公益財団法人日本住宅・木材技術センター：木造建築物の設計方法及び設計に当たり留意すべき事項の周知の実施事業報告書，pp.47-57，pp.58-64，2018.3
- 3) 一般社団法人 日本建築学会：木質構造基礎理論，pp.54-56，pp.97-103，2010.12

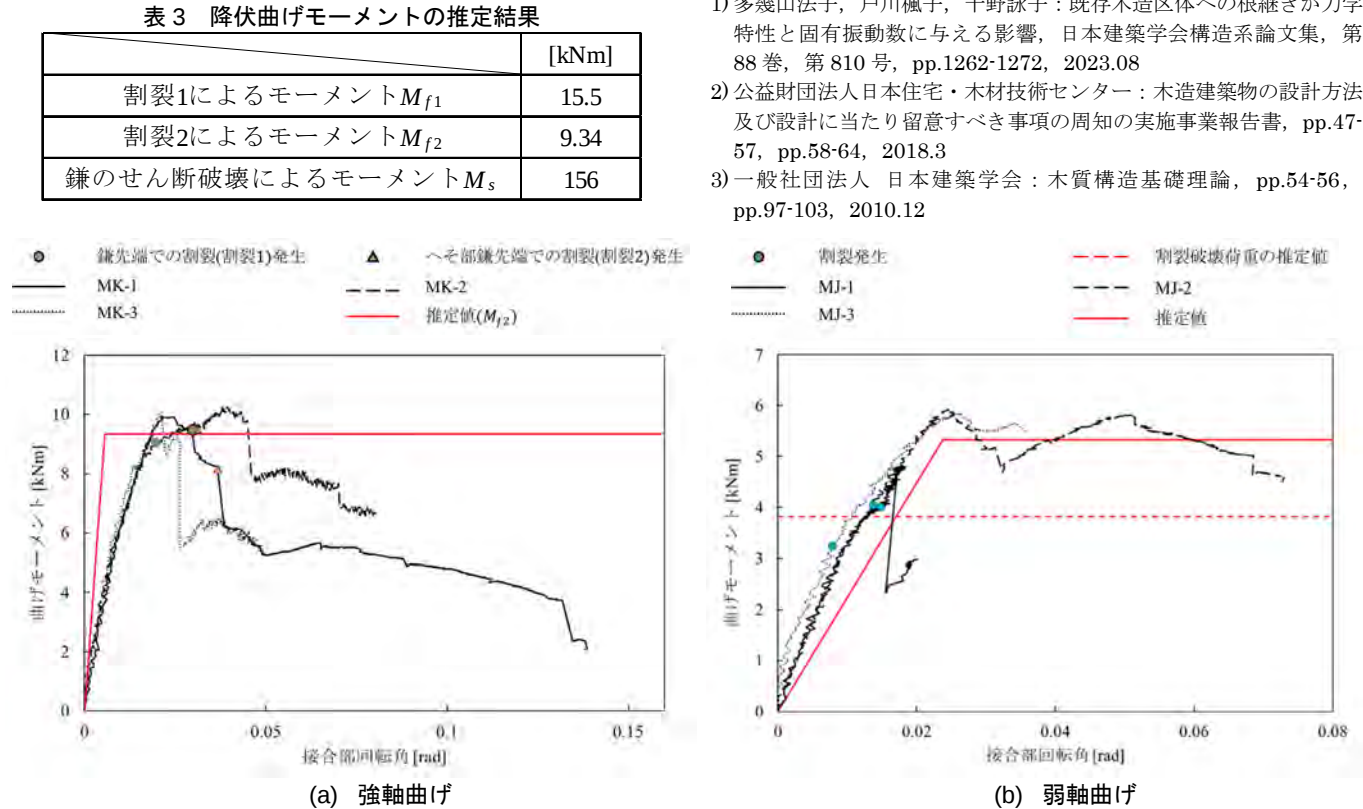


図7 実験値と推定値の比較

新潟県に所在するセガイ造仏堂の構法的特徴

村松藩領の黒小一族が造営した建物を事例として

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 主任研究員

1. 序 論

背 景 黒小空右衛門は、越後国村松藩領（現新潟県五泉市）で大工・空右衛門を世襲・襲名した一族である。初代は、出雲崎大工の出自を持つ。五代は、重要文化財旧笹川家住宅表座敷・居室部の棟梁として知られている。筆者は、これまでに同家の系譜・事績を明らかにした^{1,2)}。また、五代が造営した建物のうち、仏堂の軒にせがい造が用いられる事例を確認し、これが構造と化粧（意匠）の両面で用いられたことを、構造材と化粧材の構法的な扱われ方から論じた³⁾。しかし、他の世代が造営した建物は未検討で、課題あった。

目 的 本研究は、越後国村松藩領で活動した越後大工・黒小一族が造営した建物を事例として、新潟県に所在するせがい造仏堂の構法的特徴を明らかにすることが目的である。

対 象 対象は、拙稿²⁾で示した事例のうち、軒まわり構法を窺える11棟である（表1）。④清林寺本堂は滅失したが、個人所蔵「黒小空右衛門旧記帳」（以下、「旧記帳」と略称）に規模・構造形式が記載されるから、対象とした。⑤賢聖寺本堂は滅失したが、存続時の調査が『加茂市史』⁴⁾で報告されたため、対象とした。なお、存否未確認であった忠山寺本堂は個別調査から滅失で（現在の本堂は後世の再建）、長寿院法堂は個別調査および先代住職への聞き取りから現存と判断した。

方 法 これまでの成果に基づき、現存建物の軒まわり構法

を悉皆調査した。現存建物については①以外の個別調査を行い、配置・平面・梁行断面図を作成し、所見をまとめた。そして、調査成果に基づき、軒まわり構法を整理・検討した。なお、茅葺から桧瓦葺や金属板葺などに葺き替えの際、軒付の分だけ化粧垂木が補足される事例があるため留意する。

先行研究 『新潟県の近世社寺建築』⁵⁾は、出雲崎大工が曹洞宗寺院の造営に多く従事したこと、初期の出雲崎大工の中で特に重要な活動をしたのが黒小姓の大工たちで、重要文化財種月寺本堂・新潟県指定文化財雲洞庵本堂などが後世の規範になったこと、新潟県内の曹洞宗寺院本堂は方丈型本堂のみで、18世紀中期以降に大間両脇の柱が省略されることなどを明らかにした。また、ここでは、本稿で扱う①八幡宮本殿、②福厳寺本堂、③福昌寺本堂、⑥本住寺本堂、⑨長寿院法堂の調査成果が報告された。なお、曹洞宗の越後四箇道場のうち、江戸時代建設の本堂の現存例は、前述した種月寺・雲洞庵のほか、登録文化財慈光寺本堂がある。これらは軒が四面で垂木造で、露地の天井が化粧屋根裏である。

用 語 本稿では、軒の構造形式である「せがい造」と「垂木造」を以下のように定義する。まず、「せがい造」は、側柱もしくは側柱筋上の横架材などから腕木が外側に挺出し、それら腕木の間に軒天井が張られ、腕木の鼻先に出桁が載る軒の形式と定義する。旧記帳では、「青海作」のほか、「登り青海」と記される建物がある（長寿院法堂）。旧記帳と現存建物との対照から、せがい造には腕木が水平な平せがいのほか、腕木が斜めの登りせがいも含むこととする。また、せがい造から化粧垂木が出る形式を、「内室せがい造」と仮称する⁶⁾。次に、「垂木造」は、平行化粧垂木が現れる軒の形式と定義する。これは、旧記帳に「たる木作」と記される建物があり（東龍寺本堂）、現存建物（修理前）との対照に基づく。拙稿³⁾で述べたように、せがい造は構造材が化粧材を兼ねる形式で、垂木造は小屋と構造材を隠し、軒裏に化粧面を造る形式である。このほか、「軒の出」は側柱筋から茅葺下角まで、「屋根の出」は側柱筋から屋根仕上げ先端までとする。ただし、これらは実測に困難を伴う箇所のため、未計測の場合もある。なお、曹洞宗寺院の本堂は、史料に「客殿」や「法堂」などと記される場合がある。本稿では、文化財の指定・登録名称がなく、史料上の名称がある場合は、これを用いた。

2. 個別解説

①八幡宮本殿 八幡宮本殿は、三間社流造、木羽葺で、組物が平三斗、軒が二軒繁垂木である。軒から上は後補とされ

表1 対象一覧

No.	建物の名称	建設年	世代	類型	主要な規模・構造形式
①	八幡宮本殿 (県指定文化財)	寛文元年 (1661)	初代	社殿	間口14.25尺×奥行12.40尺（新潟県の近世社寺建築）、三間社流造、木羽葺
②	曹洞宗・ 福厳寺客殿	宝永5年 (1708)	二代	仏堂	間口19.6m×奥行11.6m、 入母屋造（元寄棟造）、銅板葺（元茅葺）
③	曹洞宗・ 福昌寺本堂	延享4年 (1747)	三代	仏堂	間口16.6m×奥行14.8m、 入母屋造（元寄棟造）、銅板葺（元茅葺）
④	真宗大谷派・ 清林寺本堂	明和4年 (1767)	四代	仏堂	「前通八間半、奥行七間半、出破風登り青海」（旧記帳）
⑤	曹洞宗・ 賢聖寺本堂	明和6年 (1769)	四代	仏堂	間口51.23尺×奥行42.30尺（加茂市史）、 寄棟造、金属板葺（元茅葺）
⑥	法華宗陣門流・ 本住寺本堂	明和7年 (1770)	四代	仏堂	間口15.5m×奥行12.2m、 入母屋造（元寄棟造）、桧瓦葺（元茅葺）
⑦	曹洞宗・ 東龍寺本堂	安永元年 (1772)頃	四代	仏堂	間口18.5m×奥行14.0m、 入母屋造（元寄棟造）、銅板葺（元茅葺）
⑧	曹洞宗・ 宗慶寺本堂	安永元年 (1772)	四代	仏堂	間口15.5m×奥行12.8m、 寄棟造、桧瓦葺（元茅葺）
⑨	曹洞宗・ 長寿院法堂	安永3年 (1774)	四代	仏堂	間口21.4m×奥行12.9m 寄棟造、金属板葺（元茅葺）
⑩	真宗大谷派・ 浄覚寺鐘樓門	安永6年 (1777)	四代	門	間口4.8m×奥行3.6m、三間一戸 楼門、入母屋造、銅板葺（元茅葺）
⑪	住吉神社本殿 (市指定文化財)	天明8年 (1788)	四代	社殿	間口3.5m×奥行4.0m、 三間社流造、銅板葺

凡 例 ⑪：現存・⑩：滅失。規模：当初の範囲。網掛け：せがい造あり。

る⁵⁾。棟札から、寛文元年(1661)の上棟と判明する⁷⁾。

②福厳寺客殿 曹洞宗・福厳寺は、慈光寺の末寺である。客殿は、現状で入母屋造、銅板葺で、軒の出が1.2mである。昭和24年(1949)頃の写真によれば、寄棟造、茅葺であった。当初は間口19.6m×奥行11.6mで、前面に露地と大縁が備わる八間取の方丈型本堂である。過去帳から宝永5年(1708)に造営を終えたことが判明し^{注1)}、平面形式や絵様などの年代観もこれと矛盾しないため、このときの完成と考える。

平成9年(1997)の修理工事で軒高が上げられ、現状は組物が柱天載り、軒が一軒繁垂木で(図1)、これらと小屋束から上は後補材である。修理工事中の写真では、正面に舟肘木と水平の腕木が写る(図2)。また、舟肘木は堂内に現存する。よって、少なくとも正面は舟肘木・平せがい造であった。

③福昌寺本堂 曹洞宗・福昌寺は、慈光寺の末寺である。本堂は、現状で入母屋造、銅板葺で、屋根の出が雨落溝の位置から1.4mである(軒の出は未計測)。昭和31年の写真によれば、寄棟造、茅葺であった。当初は間口16.6m×奥行14.8mで、前面に露地と大縁が備わる六間取の方丈型本堂である。旧記帳および延享4年(1744)の棟札があったとする伝承と⁵⁾、個別調査に基づく年代観などから、このときの建設と判断する^{注2)}。昭和31年に屋根が改造され、昭和56年に銅板葺に葺き替えられ、平成20年にも改修工事があった。化粧垂木・桔木と小屋束から上は、後補材である(転用材あり)。

組物は、正面と両側面の正面側1間目が舟肘木、それ以外の両側面と背面が柱天載りである。軒は、四面で腕木が水平に出る、平せがい造である(図3)。現状では内室平せがい造であるが、小屋梁両端木口の扱首受け形状から、当初は化粧垂木が出ない平せがい造に復原できる。両側面と背面では腕木が内部に1間分引き込まれ、入側柱に柄挿しで尻が押さえられるのに対して、正面側では腕木が内部に引き込まれず、側柱筋上に天井桁にもなる登り梁が載り、尻が押さえられる。正面の腕木尻には、絵様線形が施される。

④清林寺本堂 真宗大谷派・清林寺本堂は滅失したものの、旧記帳に「是々五泉清林寺、取掛り亥九月棟上、此寺前通八間半、奥行七間半、出破風登り青海か屋負外迄四尺軒出なり、上屋地の上三間、下屋三丈六尺」と記される。ここから、登りせがい造と考えられるが、化粧垂木の有無は不詳である。

⑤賢聖寺本堂 曹洞宗・賢聖寺は、慈光寺の末寺である。本堂は滅失したものの、存続中に調査が入り、『加茂市史』で報告がある⁴⁾。これによれば、寄棟造、茅葺である(軒の出は不詳)。当初は間口51.23尺、奥行42.30尺で、前面に露地と大縁が備わる六間取の方丈型本堂とみられる。また、棟札写^{注3)}と様式から、明和6年(1769)の上棟と考えられている。

『加茂市史』編さんに伴う調査中の外観写真によれば、四面に水平な腕木が写る。また、正面と両側面の正面側1間目には舟肘木が写り、両側面の正面側2間目は柱天載りである。よって、組物は、正面と両側面の正面側1間目が舟肘木、それ以外の両側面と背面が柱天載りであったと考えられる^{注4)}。

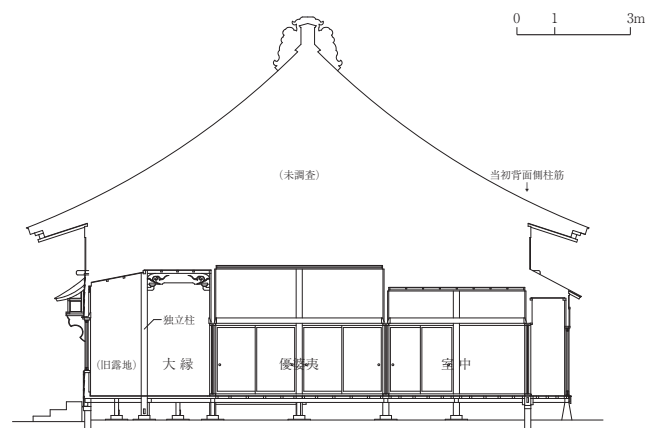


図1 ②曹洞宗・福厳寺客殿梁行断面図 1:200



図2 ②曹洞宗・福厳寺客殿平成修理工事中(福厳寺提供)

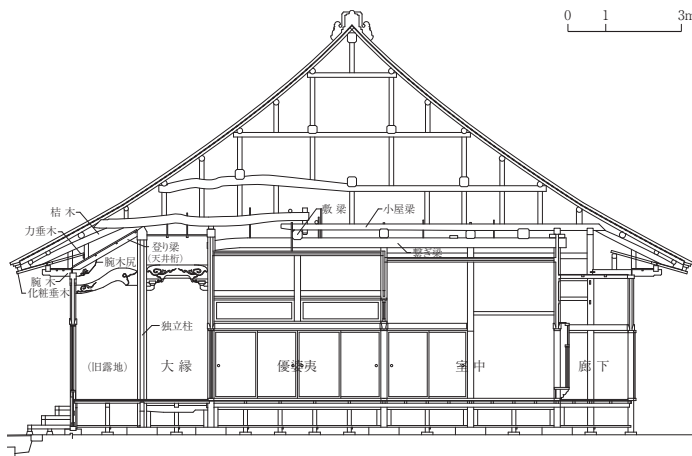


図3 ③曹洞宗・福昌寺本堂梁行断面図 1:200



図4 ⑤曹洞宗・賢聖寺本堂露地・大縁上(『加茂市史』から転載・加筆)

軒は、四面で腕木が水平に出るせがい造である。内観写真によれば、正面の腕木は内部に1間分引き込まれ、入側の独立柱に柄挿しで尻が押さえられる(図4)。露地上には、さらに斜めの天井桁となる登り梁が架かる。なお、旧記帳には「是々黒水村賢聖寺親空右衛門造立焼失後、^(明和6年)丑ノ年二月新立、九月棟上、前通八間半、はり間七間なり」と記される。

⑥本住寺本堂 法華宗陣門流・本住寺本堂は、現状で入母屋造、棧瓦葺で、軒の出が1.9mである。当初は間口15.5m×奥行12.2mで、平面は、前面に一間向拝と広縁が備わる変形6部屋構成の方丈型本堂である。明和7年の棟札写がある^{注5)}。化粧垂木・桔木と小屋束から上は、後補材である(転用材あり)。また、現在の向拝も海老虹梁の絵様などから後補と判断できるが、側柱の海老虹梁取り付け部の1段上に埋木があり、これが旧海老虹梁の仕口痕と考えられ、以前から向拝が存在した。

組物は、四面で舟肘木である。軒は、四面で腕木が水平に出る、平せがい造である(図5)。現状では内室平せがい造であるが、小屋梁両端木口の扱首受け形状から、当初は化粧垂木が出ない平せがい造に復原できる。四面の腕木は内部に1間分引き込まれ、入側柱に柄挿しで尻が押さえられる。^(明和2年)なお、旧記帳には「酉ノ年本住寺棟上、是ハ前通八間半、奥行六間四尺、録青海、か屋負外迄二尺半、上屋地の上三間、下屋式間半、同六月上棟」と記される。

⑦東龍寺本堂 曹洞宗・東龍寺は、慈光寺-吉祥寺の末寺である。本堂は、現状で入母屋造、銅板葺で、屋根の出が基壇などとの関係から2.9mである(軒の出は未計測)。当初は間口18.5m×奥行14.0mで、前面に露地と大縁が備わる六間取の方丈型本堂である。昭和58年頃に修理工事が行われ、修理工事前の図面によれば寄棟造、茅葺であったと分かる。飛檐軒から上は、このときの後補材である。降ろされた棟札に「從明和^(訂六)二年至安永^(元)□年」とあり、安永元年(1772)頃の完成と考えられる。なお、前面に露地が備わる建物であるが、向拝は海老虹梁の絵様などから、当初形式と考える。

組物は、正面が平三斗、両側面と背面が柱天載りである。軒は、現状では正面と両側面の正面側1間が二軒繁垂木、それ以外の両側面と背面が一軒繁垂木である。しかし、修理工事前の桁行・梁行両断面図によれば、正面に一軒化粧垂木、両側面と背面に登りせがい造の描画があり(図6)、これが当初形式と考える。登りせがい造からは、化粧垂木が出ない。^(明和7年)なお、旧記帳には「寅年田上村東龍寺四月新立、同卯八月上棟、前通拾間半、奥行八間、上屋地の上三間、下屋地の上七丈六尺、来光前二手先、たる木作り」と記される。

⑧宗慶寺本堂 曹洞宗・宗慶寺は、耕雲寺-香伝寺-定明寺-耕泰寺の末寺である。本堂は、現状で寄棟造、棧瓦葺で、軒の出が1.6mである。当初は間口15.5m×奥行12.8mで、前面に露地と大縁が備わる六間取の方丈型本堂である。旧記帳によれば、安永元年の上棟である。小屋は小屋束まで

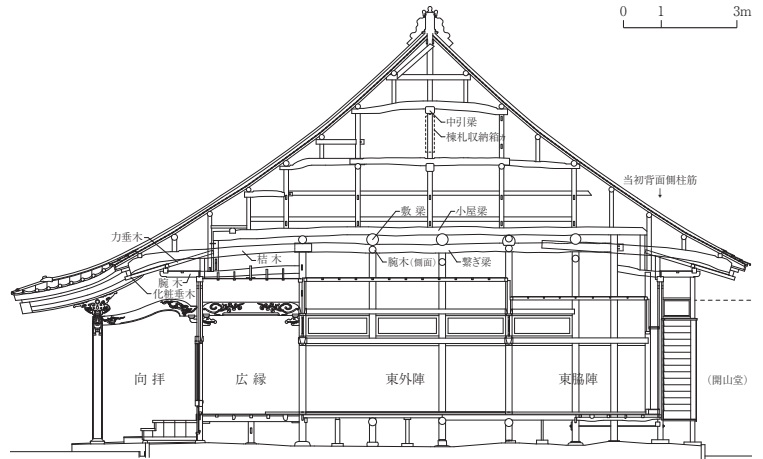


図5 ⑥法華宗陣門流・本住寺本堂梁行断面図 1:200

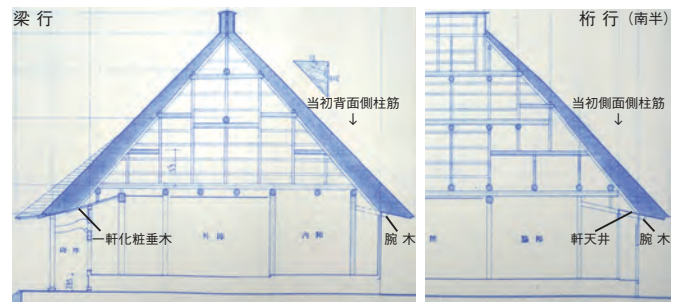


図6 ⑦曹洞宗・東龍寺本堂断面図(修理工事前, 東龍寺提供) 1:400

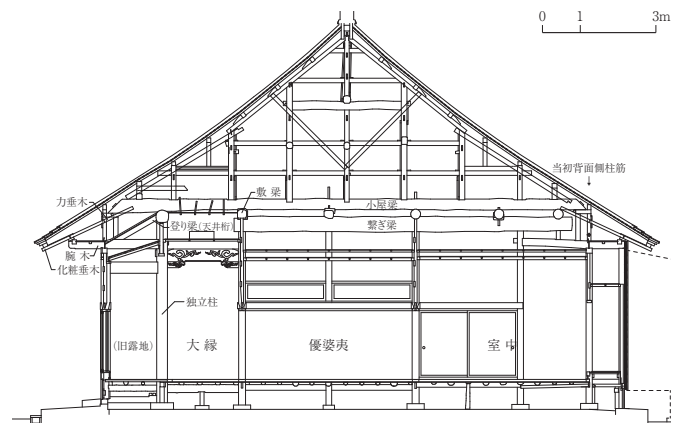


図7 ⑧曹洞宗・宗慶寺本堂梁行断面図 1:200

概ね当初材を保つが、野母屋と垂木から上は、後補材である。

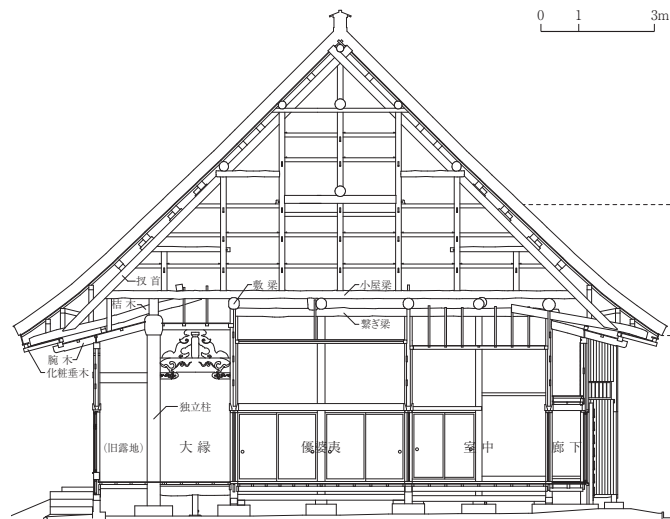
組物は、正面と両側面の正面側1間目が舟肘木、それ以外の両側面と背面が柱天載りである。軒は、四面で腕木が水平に出る、平せがい造である(図7)。現状では内室平せがい造であるが、小屋梁両端木口の扱首受け形状から、当初は化粧垂木が出ない平せがい造に復原できる。腕木は内部に1間分引き込まれ、入側柱に柄挿しで尻が押さえられる。露地上には、さらに天井桁にもなる登り梁が架かる。なお、旧記帳には「安永元年辰年、川船村宗慶寺八月上棟、前通八間半、奥行七間、青海作」と記される。

⑨長寿院法堂 曹洞宗・長寿院は、慈光寺-安養寺の末寺である。法堂は、現状で寄棟造、金属板葺で、軒の出が1.9mである。当初は間口21.4m×奥行12.9mで、前面に露地と大縁が備わる八間取の方丈型本堂である。安永3年の棟札が小屋内の頂上付近に打ち付けられているというが^{注6)}、今回

組物は、正面が舟肘木、両側面と背面が柱天載りである。軒は、四面で腕木が斜めに出る、登りせがい造である(図8)。現状では内室登りせがい造であるが、遺存する扱首から、当初は化粧垂木が出ない登りせがい造に復原できる。腕木は内部に1間分引き込まれ、正面では独立柱上の径1.3尺の桁に大入で尻が押さえられる。なお、旧記帳には「同年戸倉村長寿院新立、午ノ年上棟ス、前通拾間半、奥行八間、上屋地上三間壱尺、七寸角、下屋地の上壱丈五尺、六寸角、登り青海、か屋負外迄三尺八寸、来光前二手先」と記される。

①住吉神社本殿 住吉神社本殿は、三間社流造、銅板葺で、組物が出組、軒が二軒繁垂木である。旧記帳から、天明8年(1788)の完成と判明する。

⑨長寿院法堂は、四面で登りせがい造が導入された。これによって、前面に露地が配される曹洞宗寺院の方丈型本堂でも、より広い内部空間が確保された。これによって、旧露地上が伝統的な片流(勾配)天井でありつつ、腕木が天井桁を兼ねるため、水平の腕木尻が天井の下に現れることはなくなった。そして、構造的にも太い部材で入側が固められた。



本研究は、越後国村松藩領で活動した越後大工・小黒一族が造営した建物を事例として、新潟県に所在するせがいで造る仏堂の構法的特徴を明らかにした。主な対象は、寛文元年～天明8年に建設された、五代以外の小黒一族が造営した現存建物である。本研究の結果、建物類型によって構造形式が異なり、仏堂では宝永5年以前から平せがいで造られるのに対し、社殿と門では一貫して垂木造が用いられること、明和4年にまず真宗寺院本堂で登りせがいで造られること、安永元年に曹洞宗寺院本堂の正面に向拝・垂木造と、各面での軒の使い分けが現れ、登りせがいで造られること、安永3年に曹洞宗寺院本堂の四面に登りせがいで造られることなど、この変遷には軒まわりの構造への配慮のほか、堂内外の意匠への配慮が関係していたことなどを明らかにした。今後は、堂内の架構の検討などが課題である。

8) 高橋恒夫：近世在方集住大工の研究，中央公論美術出版，2010