改良した長押補強接合部の実験的検証

EXPERIMENTAL STUDY ON IMPROVED CONNECTION BETWEEN COLUMNS AND *NAGESHI* BEAMS WITH REINFORCEMENTS

瀧野敦夫 — * 1 榎本春香 — * 2
宮本裕司 — * 3

Atsuo TAKINO — * 1 Haruka ENOMOTO — * 2
Yuji MIYAMOTO — * 3

キーワード：
伝統木造建築物, 耐震補強, 長押, 接合部

Keywords:
Traditional timber structure, Seismic strengthening, *Nageshi* beam, Connection

In this study, several shapes of connection between columns and *Nageshi* beams with reinforcements were proposed and experimentally verified as a seismic reinforcement method for traditional wooden buildings. All specimens showed stable restoring force characteristics with no brittle fracture until the ultimate deformation state. In the case of specimens with gaps between the *Nageshi* beams and timbers filled in the gaps, there was almost no decrease in the strength when the gaps was small. When the orthogonal *Nageshi* beams was used, the yield load was about 40% to 50% of the calculated value, assuming an ideal condition.

1. はじめに

近年は社寺建築物などの伝統的木造建築物においても耐震補強工事を実施する事例が増えており、特に文化財指定を受ける建物では意匠上の制約から筋かいや壁の追加といった内外観を変更するような補強構法を採用することが難しく、床下や天井裏など目につにくい場所に補強材を挿入することが多い。そのような背景を受けて、研究代表者は既報³⁾において社寺建築物の補強構法として床下での長押を用いた方法を提案した。長押は一般的には化粧材で用いられるが、それを構造材として機能するように改良した構法であり、既にいくつかの構法や実験事例⁴⁾⁶⁾が報告されている。なお、既報³⁾において研究代表者が提案したものは、一般的には一方向にしか機能しない長押補強を、接合部の工夫によって二方向に有効な補強方法として提案したことに特徴があり、実験によりその接合効果を確認している。しかし、既報³⁾の実験では二方向の長押を繋ぐ接合部を鉄骨金物で頑丈に留め付けたため接合部の剛性が高くなり、その結果として長押や柱が大きく曲がり、接合部の長押せいを大きくしても構面全体の水平抵抗力が上昇しない結果となった。つまり、柱や長押の各部材の曲げ剛性に対して接合部剛性が大きすぎたことが課題として挙げられた。これは、この補強構法で検討している長押補強は原則として床下での補強を想定しているため、接合部からの柱の余長が長いとどうしても柱の曲げ変形を無視することができないことに起因している。接合部剛性を上げすぎると、長押補強の性能があまり向上しない上に、終局時に柱が曲げモーメントによって折損する可能性も考えられるため、適度な剛性を有する長押接合部を提案することが重要である。

また、既報³⁾の長押補強構法では、柱を挟み込む2つの長押には柱の直径と同じ寸法の長押材を必要としている。特に寺院建築の中

には非常に大きい断面の柱が用いられていることもあり、補強材として利用する長押の断面寸法が大きくなると経済的とは言えず、実際の現場で採用されないことも起こりうる。そこで荘所ら⁷⁾は、長押の断面を小さくするとともに柱部材が挿入される長押の欠き込みを小さくすることで長押相互の間に隙間を設け、その隙間を別の材で埋めた試験体で実験をしており、埋木の有無によって長押接合部の性能の変化を実験により考察している。しかし、既往文献で述べられた実験の事例数は非常に少なく、実用化に向けては更なる検証が必要と考える。

以上のことを踏まえて、本論では直交長押、長押間の隙間や埋木のある場合などについていくつかの長押接合部の形状を提案し、それらを実験により検証した結果について報告する。

2. 実験方法

2.1 試験体

試験体の形状を図1に、試験体一覧を表1に示す。試験体数は各1体とした。また、柱と長押は、全て十分に乾燥させたヒノキの特一等材を用いて製作した。当初は接合部実験ということで1本の柱に対して実験を実施したが、この場合には長押の両端をピンローラー支承とするために、長押を挟み込むように鉄骨治具で支えた。しかし、本来は柱が曲がることで長押同士も離間する可能性が考えられるため、後の実験においては柱を2本用いた試験体とし、長押は通常用いられる方法と同じように治具による拘束のない状態として実験を行った。なお、今回の柱1本の試験体については、ピンローラー支承の鉄骨治具による長押の拘束の影響が多少はあると思われるが、参考として本論に掲載することとした。

試験体1-1から試験体1-4はいずれも一方向の長押補強接合部で

本稿は既往文献^{1),2)}に加筆・修正したものである。

¹⁾ 奈良女子大学生生活環境学部住環境学科 准教授・博士(工学)
(〒630-8506 奈良県奈良市北魚屋東町)

²⁾ 奈良女子大学大学院人間文化研究科 大学院生

³⁾ 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 教授・博士(工学)

¹⁾ Assoc. Prof., Nara Women's Univ., Dr. Eng.

²⁾ Graduate Student, Nara Women's Univ.

³⁾ Prof., Osaka Univ., Dr. Eng.

図1 試験体形状

表 1 試験体一覧

名称	柱		長押			直交長押		見かけの 長押せい (mm)
	本 数	断面寸法	断面寸法	隙間 (mm)	埋 木	断面寸法	接合方法	
1-1	1	□-180×180	□-180×180	—	—	—	—	180
1-2		□-150×150	□-150×150	—	—	—	—	150
1-3		φ 180	□-180×180	—	—	—	—	180
1-4		φ 150	□-150×150	—	—	—	—	150
1-5		□-150×150	□-150×150	—	—	□-150×150	アングル接合	300
1-6				—	—		1/4欠き込み+込み栓	225
1-7				—	—		1/2欠き込み+込み栓	150
2-1	2	φ 170	□-120×180	—	—	—	—	120
2-2			□-120×120	60	—	—	—	120
2-3					○	—	—	120
2-4			□-120×90	90	—	—	—	120
2-5					○	—	—	120
2-6			□-120×120	60	○	□-120×120	アングル接合	240
2-7					○		1/4欠き込み+込み栓	180

あり、柱の断面寸法が角材で 180×180mm、150×150mm のもの、丸材で φ 180mm、φ 150mm のものとした。長押に用いた材はいずれも柱サイズと同寸の角材とし、180×180mm、150×150mm の材料を普通ボルト (M16) を用いて留めつけた。試験体 1-5 から試験体 1-7 は、全て 150×150mm の柱材に二方向に有効な長押補強接合部としたものである。試験体 1-5 は、直交長押を加力方向の長押の上に載せた後にアングル (L-150×150×12) を用いて長押同士を接合したものである。なお、アングルと長押は、いずれも普通ボルト (M16) を貫通させて接合させた。試験体 1-6 と試験体 1-7 は、長押同士をそれぞれ材せいの 1/4 と 1/2 ずつ欠き込み直交長押を上から落とし込んだ仕様で、長押同士を込み栓 (18×18mm のカシ) で留めつけたものである。見かけの長押接合部せいは、試験体 1-5 で 300mm、試験体 1-6 で 225mm、試験体 1-7 で 150mm となる。

試験体 2-1 から試験体 2-7 は、いずれも φ 170 の丸柱を 2 本用いて、それに長押を取り付けた試験体である。なお、これらの試験体に用いた柱材は、別途実施した実験の材料を再利用したため、柱に細い溝が入っているものも一部あるが、今回の実験結果の考察においては大きく影響しないと判断し、そのまま再利用することとした。また、元々の材料は 180×180mm の角材であったため、一度八角形に加工をして、その後さらに中間部分の直径が φ 170 の丸柱となるように追加加工を施した。この時の柱両端の八角形の部分を用いて、柱の上下の鉄骨治具を取り付けた。試験体 2-1 から試験体 2-5 はいずれも一方向の長押補強である。試験体 2-1 は、120×180mm の材を長押として用いたもので、長押同士は普通ボルト (M16) を用いて留めつけた。試験体 2-2 は、120×120mm の材を長押として用い、長押同士の間に 60mm の隙間を設けたものである。試験体 2-3 は、試験体 2-2 の隙間を 120×60mm の材で埋めたものである。この際に、埋木と長押とは水平方向にヒノキの込み栓 (18×18mm) を打ち付けて一体化させるとともに、試験体 2-1 と同様に普通ボルトで長押同士を留めつけた。試験体 2-4 と試験体 2-5 は、試験体 2-2、試験体 2-3 と同様の考え方として、長押は 120×90mm の材、隙間は 90mm、埋木は 120×90mm の材とした。試験体 2-6 と試験体 2-7 は、試験体 2-3 に基づき作成した二方向に有効な長押補強試験体で、試験体 2-6 では直交長押を加力方向の長押の上に設置してアングルで固定し、試験体 2-7 では長押を 30mm ずつ欠き込んで直交長押を上から落とし込み、ヒノキの込み栓 (18×18mm) で固定したもので

図 2 載荷装置

ある。なお、ボルトの締め付けは全て手締めとした。

2.2 加力方法

加力方法を図 2 に示す。試験体 1 シリーズは十字型の試験体頂部を油圧ジャッキに連結し、水平方向に加力した。長押の両端部は鉄骨治具を用いてピンローラー支承とし、柱脚はピン支承とした。試験体 2 シリーズは、上部の鉄骨梁に油圧ジャッキを連結し、水平方向に加力した。鉄骨梁は両端部をピンローラー支承とし、試験体の上下をそれぞれピン支承として、鉄骨梁、鉄骨土台に連結した。

加力は変位制御により行い、柱の見かけのせん断変形角が 1/300、1/200、1/150、1/100、1/75、1/50、1/30rad をそれぞれ 2 回繰り返し、その後 1/10rad 付近まで片側加力とした。ただし、試験体 2 シリーズのみ、1/450rad の繰り返し加力も行った。

3. 結果と考察

3.1 変形性状・破壊性状

荷重-見かけのせん断変形角関係の一例およびその正側の包絡線を図 3 に示す。ここで、荷重はロードセルの値を、見かけのせん断変形角は試験体全体のせん断変形角とし、試験体上部の水平変位を試験体高さで除した値とした。なお、正側の包絡線を比較したグラフには、稲山の三角形めり込み式から求めた計算式を併記したが、詳細については 3.2 節で述べる。試験体 1-5、試験体 2-6 以外の試験体では、0.1rad 付近まで大きな損傷や荷重低下もなく、安定した履歴を示した。試験体 1-5 は、0.06rad 時に柱脚部の支持点に割裂破壊が生じたため、一度載荷を止めて損傷部を補修した後に 0.1rad まで加力し直した。そのため、0.06rad 時に急激な耐力低下が見られるが、その際に接合部の損傷はほとんど見られなかった。また、試験体 2-6 では、0.08rad を超えたところで柱頭の治具との接合部において破壊が生じ、荷重が低下するとともに加力を終えているが、長押接合部には目立った損傷は見られなかった。

破壊の様子を写真 1 から写真 10 に示す。一方向にのみ長押を配

図3 荷重-見かけのせん断変形角関係と正側の包絡線の比較

置した試験体では加力中にも長押が柱にめり込んでいる様子を確認することができ（写真1）、加力後に解体した試験体からも柱に生じた三角形めり込みの跡を目視で確認することができた（写真2）。また、柱にめり込んだ場所の長押を確認すると、縁の部分が押しつぶされている様子を確認することができた（写真3）。一方で、丸柱の試験体でも同様に縁の部分を確認すると、写真3に示したように長押の円弧状に加工された部分で縁が潰れていたが、円弧に沿って縁の潰れ方が減少しており、中央付近ではほとんど縁が潰れていなかった。このことから矩形断面では柱に接触している長押断面が幅方向において全て有効に作用するが、丸柱の場合には端部の方はあまり有効に作用していないと考えられる。

二方向長押を用いた試験体では、アングルを用いた試験体でもアングルと木材との間に隙間が生じていることを確認した（写真4）。これは、アングルと木材との接合に用いている貫通ボルトと木材の下孔との間にクリアランスがあることが原因である。また、金物を用いなかった試験体では、直交長押が柱と同じ方向に傾くことで、加力方向に配置した長押との間に隙間が生じた（写真5）。なお、二方向長押を用いた試験体ではいずれの試験体でも直交長押同士がずれていることを確認できたが、アングルを用いた場合よりも金物を用いなかった試験体の方が目視で確認できるずれ量は大きく、直交長押の固定度が低かったことが確認できた（写真6）。解体後の試験体を確認すると、一方向長押のときと同様に柱にめり込み跡を確認することができたが、写真7で示した柱の左側では三角形のめり込み跡が一箇所であるのに対し、右側では二箇所に三角形のめり込み跡が確認できる。これは、直交長押の固定度が低いために、下

段の長押が一方向長押試験体のように作用しつつ、上段の直交長押による三角形めり込みも生じたと考えられる。直交長押がめり込む際は柱も直交長押もいずれも繊維直交方向の応力伝達となるため、目視で確認できるめり込み量は長押が繊維方向に作用している左側と比べて小さかった。また、直交長押も柱にめり込んだ場所では縁の部分が押しつぶされている様子を確認することができた。

埋木を用いた試験体では、加力の進展に伴い埋木が傾く様子や両端部の埋木は外に押し出されるように長押に対してずれ変形が生じていることを確認することができた（写真8）。解体後の試験体を確認すると、柱に生じためり込み跡は埋木部分の方がやや浅く、長押と比べてめり込み効果は小さかったと考えられる（写真9）。また、埋木と長押とを繋ぐ込み栓にもせん断変形の跡が確認でき、埋木と長押とが完全に一体化していなかったと考えられる。さらに、試験体2-5では長押同士を引き寄せるボルトに平座金ではなく普通の座金を用いたため、終局時には座金が長押にめり込んでいる様子を確認することができた。特に丸柱の場合には柱が傾いた際に長押同士が離間することが考えられるが、これが原因で座金のめり込みが生じたと思われる。

加力方向の違いによって長押接合部での破壊の様子に顕著な差は見られなかったが、十字型試験体では長押端部が終局時に少し離間する様子を確認することができた（写真10）。今回のピンローラー支承用の治具では長押にφ28の鋼棒を差し込んでいるが、長押が離間し始めると鋼棒によって多少引っかかりが生じるため、実験方法としては試験体2シリーズのように2本の柱に実状と同じように長押を設置して実験をする方が望ましいと考えられる。なお、試験体

写真1 柱のめり込みの様子
(試験体 1-1)

写真2 柱に生じためり込み跡
(左: 試験体 1-1 / 右: 試験体 1-3)

写真3 長押の縁の圧壊の様子 (左: 試験体 1-1 / 右: 試験体 1-3)

写真4 アングルと木材との間に生じた隙間
(左: 試験体 1-5 / 右: 試験体 2-6)

写真5 加力方向の長押と直交長押との間に生じた隙間
(左: 試験体 1-6 / 右: 試験体 2-7)

2シリーズにおいても長押端部が多少離間する様子を確認している。

3.2 稲山めり込み式との比較

一方長押の場合、図4に示したように長押が矩形断面の柱に三角形にめり込むことで接合部にモーメント抵抗が生じることは既往研究³⁾でも明らかにしており、抵抗メカニズムとしては明快である。一方、丸柱を用いた場合や直交長押や埋木を用いた場合では、接合部の固定度によって柱との接触部分での応力分布が変わる可能性があり、また直交長押では長押側も繊維直交方向加力となるため、普通の長押接合とは異なる考え方で応力伝達メカニズムを考える必要がある。本論では、まずは二方向長押や埋木の効果などを検証し、長押補強の応用の幅を拡げるために、種々の仕様についてその効果を実験的に検証することを目的としているため、詳細なメカニズムの解明については今後の課題とし、まずは丸柱や直交長押、埋木の有無に関わらず接合部での見かけの長押接触面積を用いて、図4に示した理想的な条件下で求めた計算式と実験結果とを比較する。

計算で用いる力学モデルは図4に示したとおりである。試験体形状に関係なく、柱と長押は剛体と仮定し、三角形めり込みの長さは長押せいの1/2とし、幅は柱の幅あるいは直径として接合部の曲げモーメントを算出し、その曲げモーメントを試験体高さで除することにより試験体に作用する水平荷重とした。なお、柱と長押を剛体と仮定することで、試験体全体のせん断変形角と接合部の回転角とが等しいとして計算した。計算結果と実験結果の比較を図3に示す。

写真6 直交長押がずれている様子 (試験体 1-6)

写真7 二方向長押の解体後の柱のめり込み跡 (試験体 1-5)

写真8 埋木のずれ変形 (試験体 2-3)

写真9 埋木を有する試験体のめり込み跡 (試験体 2-3)

写真10 十字型試験体で端部の長押が開く様子 (試験体 1-1)

ここで、計算に用いた値はヒノキ ($E=9,000\text{N/mm}^2$, $F_m=7.8\text{N/mm}^2$) を参照した。また、実験結果の正側の包絡線から文献⁸⁾を参考にして完全弾塑性近似をし、得られた特性値と計算結果の一覧を表2に示す。なお、完全弾塑性近似については1/15radまでのデータを用いて行った。さらに、表2中に併記した降伏荷重と初期剛性の計算結果に対する実験結果の比の値を図5に示す。図5において、白抜きのデータは直交長押を有する二方向長押の試験体を、バツ印は埋木を有する試験体を表している。全体的な傾向として、十字型試験の方が降伏荷重が高い傾向にある。特に一方長押のデータを比較すると、初期剛性はいずれの試験方法でも概ね良い対応を示しているものの、十字型的一方長押の降伏荷重と計算値とのずれは顕著である。原因は不明であるが、特に変形が進行するにつれてピンローラー支承の鉄骨治具によって長押が過度に拘束された可能性は否定できない。このことから、試験法としては柱を2本用いる試験体2シリーズの方が妥当であると判断できる。

試験体2シリーズでも一方長押は隙間の有無に関わらず計算値と比較的良好な対応を示しているものの、試験体1シリーズの一方長押と比べると初期剛性も降伏荷重も試験体2シリーズの方が低い傾向を示した。先述したように試験体1シリーズでは治具による拘束があることから、この差が明確に丸柱による影響とは断言できないが、3.1節で述べたように丸柱の場合には柱の幅方向に対して均一に応力が作用していない可能性があるため、丸柱の影響によって耐力が低減することも考えられる。ただし、現時点では試験体数も非常に少ないことから詳細な検討については今後の課題とする。なお、隙間が大きい試験体2-4では特に初期剛性が計算値の約1.5倍とや

表2 実験結果と計算結果の一覧

	Experimental Results					Calculation		Exp./Calc.	
	Py kN	Ry rad	K kN/rad	Pmax kN	Pu kN	Rv rad	Py kN	K kN/rad	Py - K -
test1-1	12.12	0.025	477.1	22.11	18.73	0.039	7.35	425.9	1.65
test1-2	9.09	0.028	329.5	14.90	12.83	0.039	4.30	250.2	2.12
test1-3	12.54	0.025	505.8	22.25	19.24	0.038	7.35	425.9	1.71
test1-4	7.05	0.027	265.3	12.13	10.61	0.040	4.30	250.2	1.64
test1-5	21.93	0.042	517.6	31.60	27.61	0.053	16.08	1190.5	1.36
test1-6	13.13	0.032	404.1	20.26	17.06	0.042	9.27	612.7	1.42
test1-7	6.04	0.032	189.2	9.76	8.56	0.045	4.30	250.2	1.41
test2-1	5.14	0.016	330.5	9.40	8.09	0.024	6.40	343.1	0.80
test2-2	3.67	0.013	273.6	6.91	6.02	0.022	3.95	222.0	0.93
test2-3	4.41	0.016	278.7	9.49	7.97	0.029	6.40	343.1	0.69
test2-4	2.37	0.010	239.4	4.18	3.63	0.015	2.74	161.5	0.86
test2-5	3.28	0.025	130.2	6.47	5.60	0.043	6.40	343.1	0.51
test2-6	11.67	0.024	495.1	22.23	18.89	0.038	24.26	1572.8	0.48
test2-7	6.31	0.028	222.2	11.65	9.90	0.045	13.99	828.6	0.45

図4 長押によるモーメント抵抗の力学モデル

図5 実験結果と計算結果の比較

や大きい値を示しているが、原因は不明である。また、埋木を用いた場合では、それ以外の一方長押のデータと比較して計算値よりも低い傾向を示しており、特に埋木の幅が大きい試験体 2-5 で顕著である。破壊性状でも確認したように、丸柱では本来柱の中心部分の方がめり込み抵抗が大きくなるため、その部分の大半を固定度の低い埋木が占める試験体 2-5 で耐力低下が大きかったと考えられる。試験体 2-6 と試験体 2-7 は埋木と直交長押の両方を有する試験体であるが、いずれも計算値からは大きく低下する結果となった。しかし、これらの試験体も含めて全ての試験体で荷重-変形関係は終局時まで右肩上がりの結果となっており、1/10rad 付近での荷重が計算による降伏荷重と同程度か上回っているものばかりで、文化財建造物を中心に伝統構法による木造建築物の耐震補強構法としては概ね良い結果を得たと判断できる。

4. まとめ

本論では伝統構法木造建築物の耐震補強構法として用いる長押補強構法について、いくつかの長押接合部の形状を提案し、それらを実験により検証した。得られた結論を以下にまとめる。

- ・いずれの仕様においても、長押が柱へめり込むことにより耐力が発現されるとともに、今回の実験においては 1/10rad まで長押接合部に顕著な破壊は見られず、急激な荷重低下も生じなかった。
- ・直交長押を用いた試験体では、接合に鉄骨金物を用いない仕様と比べてアングルを用いた二方向長押接合部の方が長押同士の固定度は高くなり、終局時の荷重も大きくなった。
- ・長押間の隙間に埋木を用いた試験体では、加力の進展に伴い埋木のずれ変形を確認し、長押同士の一体性が低下した。しかし、隙間の間隔が小さい場合に埋木をした試験体では、隙間のない試験体と遜色のない復元力特性を示し、埋木の効果を確認することができた。
- ・柱のめり込みを想定して求めた計算式と実験結果とを比較すると、

一方方向のみ長押を用いた試験体では降伏荷重や初期剛性は概ね良い対応を示した。また、埋木や直交長押を用いた試験体では接合部が一体と仮定して求めた計算式とは大きくずれる傾向にあり、全体的に計算値よりも実験値が大きく低下する結果となった。しかし、いずれの場合においても荷重-変形角関係は終局時まで右肩上がりの結果となり、1/10rad 付近では降伏荷重と同程度かそれを上回る荷重となった。

最後に、本論を踏まえて現時点での長押補強構法の可能性について言及する。一方方向長押については、隙間を有する場合においても概ね計算通りの復元力特性を得られることができるが、隙間が大きくなると長押が柱に接触する面積が小さくなるため、特に丸柱の場合には耐力が発現しにくくなると予想される。直交長押についてはアングルを用いる場合と渡り腿に込み栓で接合する 2 つのパターンが可能性として考えられる。耐震補強として採用する場合には既存の 2 本の柱に新設する長押を加工しなければならず、直交する長押を上に乗せて横からアングルで固定する方法の方が明らかに施工性は良いが、大工の技量によっては渡り腿形式で金物を用いない仕様を採用することも考えられる。ただし、これに埋木を組み合わせるとさらに施工性が悪くなるため、今回の実験での耐力上昇の程度を考えると埋木を用いる仕様については改善の余地がある。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 15H05537 の助成を受けたものです。また、本研究を実施するにあたり、(有) 播磨社寺工務店の大西好浩氏に多大なるご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 池内砂織, 大川碧, 瀧野敦夫: 長押補強接合部の曲げ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, 構造Ⅲ, pp.267-268, 2016.8
- 2) 榎本春香, 瀧野敦夫, 宮本裕司: 長押補強構法の実験的検証とその性能評価 その 1 埋木を有する場合の試験結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, 2020.9
- 3) Atsuo Takino, and eight others: Experimental verification and seismic strengthening design of bi-directionally effective wooden beams (Nageshi) with high strength semirigid connections, Journal of Structural and Construction Engineering (Transactions of AIJ), Vol.81, No.724, pp.949-957, 2016.6 (in Japanese)
瀧野敦夫, 他 8 名: 二方向に有効な高耐力長押補強の実験的検証と耐震補強設計, 日本建築学会構造系論文集, Vol.81, No.724, pp.949-957, 2016.6
- 4) 佐藤弘美, 藤原稲子, 藤田香織: 長押の形状の変遷と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, 構造Ⅲ, pp.413-414, 2003.9
- 5) 朝ティリ, 田村優衣, 河根茉央, 古川忠稔: 長押接合部の耐力特性に関する実験的研究-長押形状の違いによる回転剛性の比較-, 日本建築学会東海支部研究報告書, pp.325-328, 2013.2
- 6) Takeshi Kawachi, Osamu Sadahiro, Makoto Kimura, Kazuo Kondo: Experimental tests on the improved Nageshi-column joint in traditional wood structures, AIJ Journal of Technology and Design, Vol.19, No.42, pp.531-536, 2013.6
河内武, 他 3 名: 伝統木造架構における改良型長押の提案とその接合部実験, 日本建築学会技術報告集, Vol.19, No.42, pp.531-536, 2013.6
- 7) 荘所直哉, 井上涼, 早崎洋一, 三芳紀美子, 大橋好光: 丸柱に取付く長押のモーメント抵抗性能に関する研究 その 1 モーメント抵抗実験の結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, pp.175-176, 2018.9
- 8) 公益財団法人日本住宅・木材技術センター: 木造軸組工法住宅の許容応力度設計 (2008 年版), 2008.12

[2020 年 6 月 2 日原稿受理 2020 年 7 月 8 日採用決定]