

伝統木造軸組の柱-貫接合部のモーメント抵抗要素に関する実験的研究
その2 耐力特性および柱の負担せん断力の考察

Experimental Study on Moment Resisting Joint of Column and Nuki for Japanese Traditional Wooden Frame
Part.2 Study on Strength Characteristics and Shear Force Distribution of Column

2. 構造-7. 木質構造

伝統木造軸組 柱-貫接合部 楔
壁強さ倍率 モーメント抵抗 回転剛性

準会員 ○ 小島 崇徳* KOJIMA Takanori
正会員 小野 徹郎** ONO Tetsuro
同 井戸田秀樹*** IDOTA Hideki
同 羽生田善将**** HANYUDA Yoshimasa

1. 序

本報では前報に続き柱-貫仕口のモーメント抵抗要素の実験の結果を示し、耐力特性、柱の負担せん断耐力について考察する。

2. 実験結果

2.1 仕口部破壊状況

(a) 貫試験体における仕口部破壊

仕口部における破壊状況を図1に、楔の抜けを表2に示す。各試験体において楔の抜けは層間変形角1/100[rad]前後で顕著に現れ、最終的に表1に示す長さまで抜け出した。また、重ねた楔の下側の楔が上側の楔に比べ大きく抜け出ることがわかった。下側の楔は、繰返し荷荷により徐々に抜け出し、楔には履歴ごとの階段状の柱のめり込み跡が見られた。逆に上側の楔の抜け出しはみられず、同じ位置で柱が大きくめり込み、当初の厚さの7割程度になるものもあった。上側の楔がある側の貫にはめり込みが顕著であったが、下側の楔がある側の貫には大きなめり込みは認められなかった。貫下部では柱によるめり込みが認められ、切欠き部からひび割れが見られた。また、貫中央にはせん断ひび割れが認めら

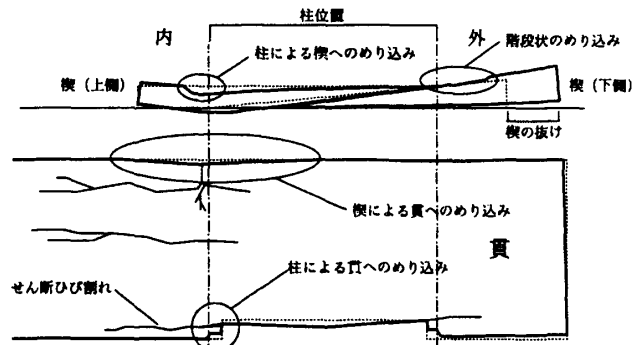


図1 仕口部破壊状況

表1 楔の挙動

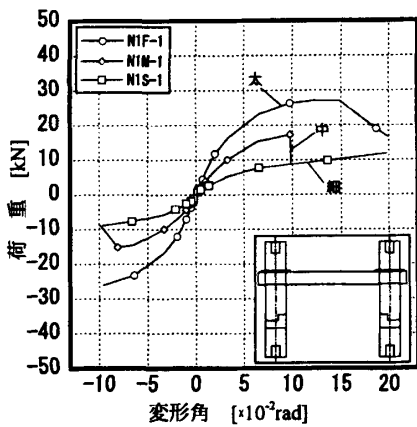
試験体名	最終観測変形角 [rad]	楔長さ (mm)						楔の残存 [mm]					
		左外	左内	左中	右中	右内	右外	左外	左中	右中	右内	右外	
N1F-1	1/5	440	440			430	445	94	0			0	8
N2F-1	1/10	442	417			445	430	87	3			8	68
N1F-2	1/5	435	385	415	390	357	410	5	12	8	11	7	60
N2F-2	1/5	436	400	430	436	430	430	15	11	3	55	14	50
N1M-1	1/10	380	352			370	345	82	6			0	57
N2M-1	1/5	355	355			370	350	70	8			20	38
N1M-2	1/5	385	380	340	370	345	355	30	18	23	18	4	55
N2M-2	1/5	365	365	375	345	370	370	30	23	3	37	1	90
N1M-1K	1/5	306	350			305	380	38				14	21
N1S-1	1/5	288	285			305	300	125	2			17	43
N2S-1	1/5	307	285			303	310	83	0			0	30
N1S-2	1/5	288	300	300	285	305	285	80	17	17	37	27	46
N2S-2	1/5	298	305	305	310	300	300	20	17	4	45	12	37

表2 実験結果

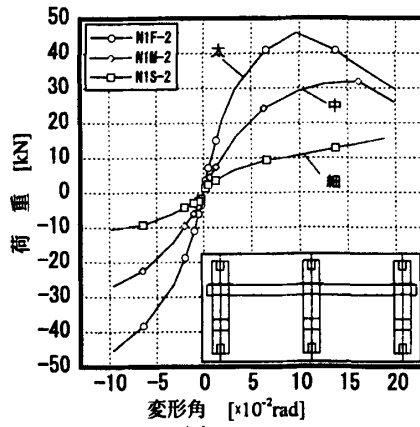
試験体名	δy [mm]	δv [mm]	δu [mm]	P_y [kN]	P_{max} [kN]	P_u [kN]	K [kN/cm]	μ	D_s	$\frac{2}{3}P_{max}$ [kN]	$0.2P_u\sqrt{2\mu-1}$ [kN]	壁強さ倍率	破壊モード
N1F-1	85.93	101.5	220	15.69	26.52	24.15	2.38	2.17	0.55	17.68	8.82	4.41	貫の折壊
N2F-1	57.36	103.5	196.6	8.67	17.21	15.63	1.51	1.90	0.60	11.47	5.23	2.61	貫の折壊
N1F-2	59.44	89.76	220	26.74	45.73	40.39	4.50	2.45	0.51	30.49	15.96	3.99	貫の折壊
N2F-2	90.19	133.9	220	24.37	37.91	35.99	2.70	1.84	0.66	25.27	10.88	2.72	貫の折壊
N1M-1	61.92	106.1	214.7	8.94	17.23	15.33	1.44	2.02	0.57	11.49	5.35	2.68	貫の折壊
N2M-1	61.35	102.8	187.7	5.38	10.06	9.02	0.88	1.83	0.61	6.71	2.94	1.47	貫の折壊
N1M-2	83.60	133.2	220	17.07	28.96	27.19	2.04	1.65	0.66	19.31	8.25	2.06	貫の折壊
N2M-2	82.83	134.6	220	13.54	22.50	21.85	1.64	1.63	0.66	15.00	6.58	1.65	貫の折壊
N1M-1K	67.42	104.2	220	14.97	26.73	23.14	2.22	2.11	0.56	17.82	8.31	4.15	貫の折壊
N1S-1	96.11	136.7	220	5.90	8.77	8.56	0.61	1.57	0.68	5.85	2.51	1.26	1/5[rad]まで破壊なし
N2S-1	108.6	156.7	218.4	4.53	6.70	6.54	0.42	1.39	0.75	4.47	1.75	0.87	貫の折壊
N1S-2	64.49	100.6	220.0	5.99	10.58	9.35	0.93	2.19	0.54	7.05	3.43	0.86	1/5[rad]まで破壊なし
N2S-2	102.9	141.9	220.0	7.96	11.08	10.97	0.77	1.55	0.69	7.39	3.18	0.79	1/5[rad]まで破壊なし
KF-1	66.85	96.06	220.0	33.85	55.28	48.35	5.03	2.29	0.53	36.85	18.30	9.15	込控折壊・ボルト破断
KF-2	80.71	126.3	220.0	67.90	113.8	108.2	8.41	1.74	0.63	75.87	33.47	8.37	車知のせん断破壊
KF-3	82.06	118.9	220.0	21.53	34.50	31.49	2.82	1.83	0.61	23.00	10.29	5.15	込控折壊

* 名古屋工業大学建築・デザイン工学科 学部生
** 相山女学園大学 教授・工博
*** 名古屋工業大学大学院社会工学専攻 教授・工博
**** 龜山建設株式会社 設計部門長

Student, Dept. of Architecture and Design, Nagoya Inst. of Tech.
Prof., Sugiyama Jogakuen Univ., Dr. Eng.
Prof., Nagoya Inst. of Tech., Dr. Eng.
Kameyama Construction.



(a) N1-1



(c) N1-2

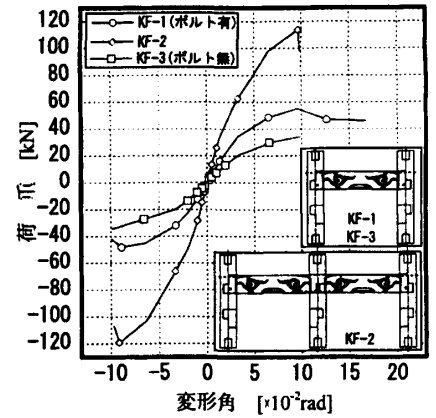
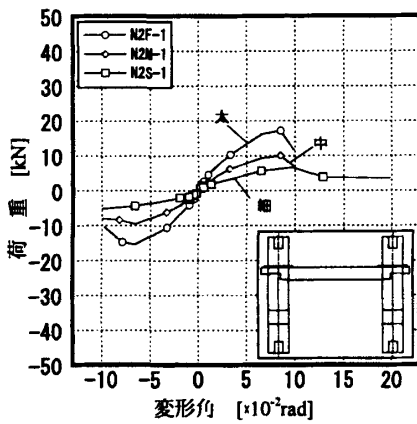
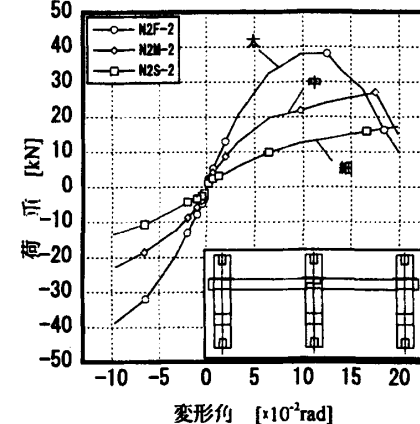


図3 骨格曲線 (虹梁)



(b) N2-1



(d) N2-2

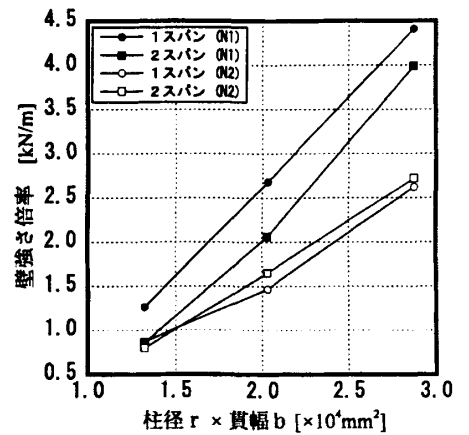
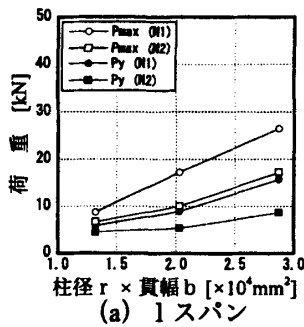
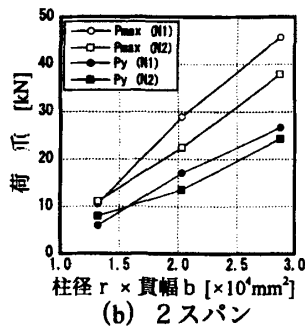


図5 壁強さ倍率

図2 骨格曲線 (貫)



(a) 1スパン



(b) 2スパン

図4 耐力の比較

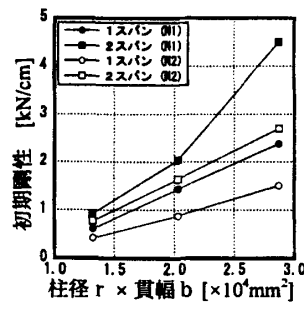


図6 初期剛性の比較

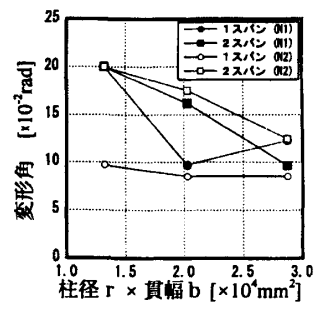


図7 最大耐力時の変形

れた。

(b) 虹梁試験体における仕口部破壊

虹梁試験体では、貫試験体で見られた柱による貫への大きなめり込みは見られなかったが、込栓による貫へのめり込みは見られた。また、1スパン試験体では、層間変形角 $1/10$ [rad] 付近で込栓の折れ、ボルトの破断が見られたが、2スパン試験体では、込栓は折れたもののボルトの破断は見られず、竿車知継ぎ手の車知がせん断破壊した。

2.2 壁強さ倍率による評価

壁強さ倍率算出のための各値を表2に示す。実験により得られた履歴曲線から包絡線を得た。また、繰り返し荷重を行った層間変形角が $1/10$ [rad] までで評価を行いそれ以降の挙動は無視した。得られた包絡線から完全弾塑性モデル⁷⁾を求め、最大耐力 P_{max} 、終局耐力 P_u 、降伏耐力 P_y 、終局変位 δ_u 、降伏変位 δ_y 、初期剛性 K 、塑性率 μ 、構造特性係数 D_s をそれぞれ求めた。すべての試験体において実験により決定される短期基準せん断耐力は、構造特性係数により決定した。また、不確定性・不均質性による耐力への影響係数 α は1とした。

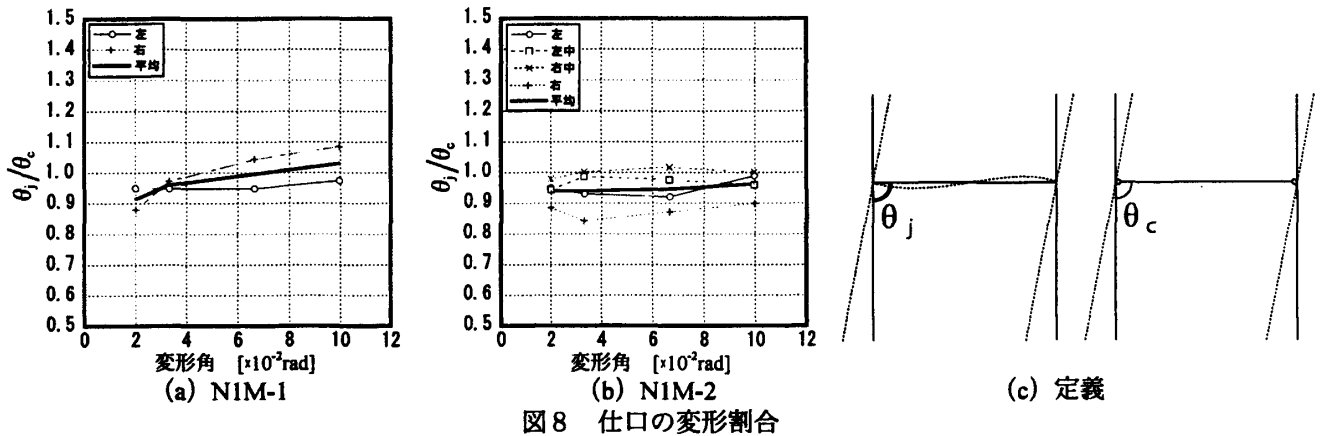


図8 仕口の変形割合

2.3 骨格曲線の比較

骨格曲線を図2、3に示す。また、各試験体における耐力の比較を図4に、壁強さ倍率を図5に、初期剛性を図6に、最大耐力時の変形を図7にそれぞれ示す。貫仕口の挙動は、主に楔と貫への柱のめり込みによって特徴づけられていると考えられる。そこで、耐力、剛性などのパラメータを、めり込みに直接関係すると考えられる柱径 r と貫幅 b の積 rb で整理した。図4における耐力の比較から、1スパン試験体においては柱・貫サイズが大きくなるにつれて最大耐力 P_{max} 、降伏耐力 P_y ともに高くなり、 rb とほぼ比例関係が見られた。また、仕口形状の違いによる各耐力の差が、柱・貫サイズが大きくなるにつれて顕著に現れた。2スパン試験体においても柱・貫サイズが大きくなるにつれて最大耐力 P_{max} 、降伏耐力 P_y 、ともに高くなり、 rb と比例関係が見られた。また、最大耐力に関しては、1スパンと同様に柱・貫サイズが大きくなるにつれて仕口形状による差が顕著となるが、降伏耐力に関しては、仕口形状による差はほとんど見られなかった。壁強さ倍率は、図5に示すとおり、1スパン、2スパン、仕口の形状に関わらず大きくなり、 rb にほぼ比例した。1スパン試験体(N1)と2スパン試験体(N1)を比較すると、2スパン試験体の方が1スパン試験体の60~80%程になった。また、2スパンで継ぎ手を有する試験体(N2)との比較では、柱・貫サイズに関わらず60%程で一定となった。図7より、2スパン試験体では、仕口形状に関わらず柱・貫サイズが大きいものから順に最大耐力に達し、柱・貫サイズが小さいものでは、1/5[rad]まで変形させても1スパン試験体(N2)を除いて最大耐力に達しなかった。

2.4 変形割合

全体の変形に占める仕口の変形割合を図8に示す。柱の変形はほとんど認められず剛なものとした。全体の変形に占める仕口の変形割合は1スパン、2スパンを含め

てすべての試験体において95%以上となった。この結果は、材の曲げ剛性に比べ仕口の回転剛性が著しく小さいことから、仕口の回転剛性のみによって計算できるとする後藤らによる研究結果²⁾と一致する結果である。

2.5 柱の負担せん断耐力

各仕口位置の曲げモーメントはひずみゲージにより計測したひずみに断面係数とヤング係数を乗じて算出した。また、ひずみゲージによる測定は、柱端部において貫へのめり込みが予想されるため、柱端部から影響が及ばない位置まで離れた位置で行った。曲げモーメントは柱中心位置へ直線補正した値とした。1スパン(a)、(b)と2スパン(c)、(d)の層間変形角1/30[rad]時の押し側、引き側双方のモーメント図を図9に示す。1/30[rad]時においてはすべての試験体で貫の折れは認められていない。図中の○印は反曲点位置を示し、柱スパン長の半分の長さに対する比率もあわせて示した。また、せん断力負担割合を各柱ごとに示した。

① 1スパン

仕口形状C1、C2による比較を行う。貫通しているC1タイプの仕口(a)においては、モーメント図は対称であり、各柱のせん断力負担割合は等しいことがわかる。しかし、断面が柱内部で減少しているC2タイプの仕口(b)では、押し側、引き側で仕口部の剛性が変化するため、柱のせん断力負担割合が異なることがわかる。

② 2スパン

剛接合のフレームにおいてはせん断力負担割合は、0.5:1:0.5となるが、仕口タイプに関わらず中柱における負担割合が小さくなる傾向が見られた。また、左端と右端の柱における負担割合が異なるのは、楔の抜け具合が関係していると考えられる。(c)の試験体の場合、押し側で右側の柱の負担割合が小さくなっている。表2に示した楔の抜けから、右端の楔の抜けが他の柱位置の楔の抜けより著しく大きいことからピン接合に近い形と

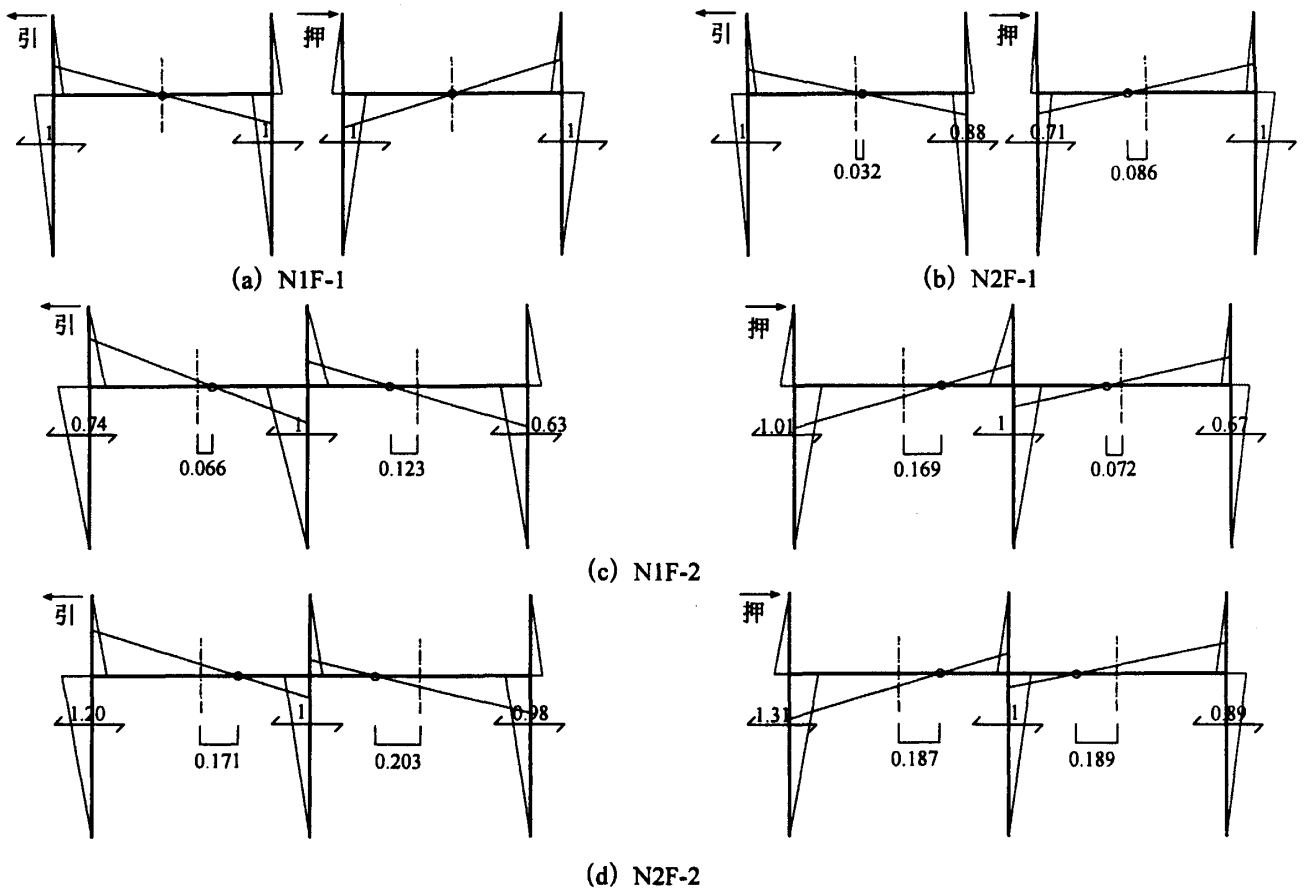


図9 モーメント図 (1/30 [rad])

なり、剛性の高い左側の柱に応力が集中し、負担割合が小さくなったと考えられる。

これらのことから柱のせん断力負担割合は楔の抜け、仕口形状の詳細が大きく関係していると考えられる。

3. 結

その2では仕口での破壊モードを示し、壁強さ倍率による評価を行い、各試験体におけるパラメータごとの耐力、初期剛性を比較した。また、柱の負担せん断力の考察を行った。以下に結論を示す。

- 1) 仕口の回転変形は柱が貫および楔にめり込むことによって生ずる。また、耐力低下は貫の折損により生ずる。
- 2) 重ね楔は、上下の楔で抜け出し方が大きく異なり、下側の楔のみが顕著に抜け出す。
- 3) 壁強さ倍率、最大耐力、降伏耐力、初期剛性は、柱・貫サイズ ($r \times b$) にほぼ比例する。
- 4) 仕口の変形が全体の変形に占める割合は95%以上であり、材の曲げ剛性に比べ仕口の回転剛性が著しく小さい。
- 5) 柱の負担せん断力による考察では、正曲げ、負曲げ

時の各仕口の剛性が異なることから、最大耐力到達時の変形角が異なり、各仕口において単独で求めた耐力の単純な足し合わせにより、フレーム全体の耐力は決定できない。

今後は、材料の部分圧縮実験を行い、めり込み特性を考慮し、本実験の各パラメータの影響を考慮した評価方法を提案すること目標とする。

【参考文献】

- 1) 坂静雄：金堂構造の安定度判定に関する研究第四報 社寺骨組の力学的研究 (第二部) 貫の耐力, 文化庁, 1942.3
- 2) 後藤一雄：貫通仕口による木造ラーメン (大黒柱) 構造の研究 (その1) 仕口の挙動に関する実験的研究, 建築学会論文報告集, 1986.8
- 3) 稲山正弘：木材のめり込み理論とその応用 (靱性に期待した木質ラーメン接合部の耐震設計法に関する研究), 東京大学学位論文, 1999.12
- 4) 前野将輝, 鈴木祥之：伝統木造軸組の実大実験による柱・横架材接合部の曲げモーメント抵抗に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, No.601, pp113-120, 2006
- 5) 北守順久, 加藤泰世, 片岡靖夫, 小松幸平：伝統木造建築における貫接合部の耐力発現モデルの提案と実験的検証, 木材学誌, Vol.49, No3, pp179-186, 2003
- 6) 加藤泰世, 小松幸平, 北守順久：木構造柱・貫接合部の剛性・耐力に及ぼす楔の役割, 木材学会誌, Vol.48, No.2, pp.84-91, 2003
- 7) 財団法人日本建築センター：「木造軸組工法住宅の許容応力度設計」, 2001年12月