伝統木造架構における板壁ダボの要素実験

ELEMENT EXPERIMENTS ON THE DOWEL OF WOOD SIDING WALL IN TRADITIONAL WOOD STRUCTURES

河内 武 — * 1 貞広 修 — * 2
木村 誠 — * 2 近藤一夫 — * 3

Takeshi KAWACHI — * 1 Osamu SADAHIRO — * 2
Makoto KIMURA — * 2 Kazuo KONDOH — * 3

キーワード:

ダボ, 板壁, セン断実験, 繰返し載荷

Keywords:

Dowel, Siding wall, Shearing test, Cyclic loading

It is well-known that the dowel plays the very important roles in the wood siding wall system in the traditional wood structures. In this paper, element experiments on the dowel of siding wall are performed under monotonous and cyclic loadings, and the influence of length, depth and the shape of the section of the dowel on the elasto-plastic characteristics as the transmission device are investigated and discussed. Also, the dowels composed of the wood and the lead are presented and examined, compared with the ordinary wooded ones.

1. はじめに

神社・寺院などの日本古来の構法による伝統木造建築において、落とし込みタイプの板壁（以後、単に板壁と記述）は主要な耐震要素のひとつである。板壁を構成する部材の中でも、板と板の間に挿入されるダボは、上下にとりあう板どうしの間の力の伝達要素として重要な役割を果たす部材であり、建築基準法でも設置するダボの仕様が規定されている。

筆者らはこれまでに伝統木造板壁の実大模型による水平載荷実験^{1),2)}により、ダボの有無のみの違いで架構の荷重-変形関係が大きく異なったものとなることを確認している。

一方、ダボに関連する既往の研究成果としては、以下のようなものが挙げられる。

花里ら³⁾は、五重塔における部材の構成要素の一部として、ダボのめり込みを接合部分の主要な変形要因とする解析用のモデル化を行っており、めり込み領域を仮定した上で稲山によるめり込み理論⁴⁾を適用して剛性を、丸太組構法の算定式⁵⁾により終局耐力を設定している。藤田ら⁶⁾は、組物のダボを対象に、ダボのめり込みを主な変形要因として稲山によるめり込み理論⁴⁾により剛性を求め、ダボは弾性範囲内としてそのモデル化を行なっている。野口ら⁷⁾は、木-木ボルト接合部におけるホゾ穴側の木材のめり込み部に弾性床上の梁理論を適用し、新たに「半すべり状態」を定義することで、簡便な形の接合部の降伏耐力の算定式を提案している。福山ら⁸⁾は、様々な細長比のダボを対象に、せん断変形を考慮した弾性床上の梁理論によるホゾ穴側の木材へのめりこみ剛性と稲山によるめり込み理論⁴⁾を組み合わせるダボ接合部の汎

用的な剛性算定式を、また、ヨーロッパ型降伏理論（EYT 式）をもとに、ダボ特有の現象も加味した耐力算定式⁹⁾を提示している。

本報では、より実務に即した観点から、交換・設置が比較的容易なダボという部材を用いた板壁の耐震性能の向上と、ダボの施工性の向上を図るための基礎的研究として、ダボ単体としての単調載荷実験と繰返し載荷実験を行ない、ダボの形状、寸法や構成材料の相違が及ぼす影響、効果を検討した結果について報告する。単調載荷実験では、長さ（埋込み長）、せい、断面形といったダボ形状の相違が構造性能の違いに及ぼす影響の把握を、また、繰返し載荷実験では、既往の研究ではあまり触れられることがなかった繰返し載荷時のダボの性状の把握とともに、エネルギー吸収能力の向上を目指した鉛入りダボについての検討も行なった。

2. 実験方法の概要

図1に、試験体および加力方法の概略を示す。試験体は、筆者らが実施した板壁の実大模型実験^{1),2)}のダボ周辺部分を実大サイズで取り出し、90度回転させたものとした。ダボは、加力時に左右が対称となるように左右1本ずつの計2本配置しており、3枚の板のうち中央の板を鉛直方向（実際の架構では水平方向に相当）に載荷してダボにせん断力を加えている。なお、試験体に用いた木材は、板、ダボとも試験体ごとに新しい材料を用いている。

実験は、前述のように、単調載荷実験と繰返し載荷実験の2通りに分けて実施した。単調載荷実験では、様々な形式のダボについての構造性能の把握を目的として、ダボの形状・サイズ等をパラメーターとした。一方、繰返し載荷実験では、繰返し載荷時のダボの変

¹⁾ 清水建設株式会社 主任研究員・工修
(〒135-8530 江東区越中島3-4-17)

²⁾ 清水建設株式会社 設計長・工修

³⁾ 広島大学大学院工学研究科 准教授・工博

¹⁾ Senior Research Engineer, Institute of Technology, Shimizu Corporation, M. Eng.

²⁾ Senior Structural Engineer, Design Division, Shimizu Corporation, M. Eng.

³⁾ Assoc. Prof., Graduate School of Eng., Hiroshima Univ., Dr. Eng.

図2に実験で使用したダボの概略を、また、表1に単調載荷実験に用いたダボ試験体一覧を示す。各試験体とも、試験体名末尾のa, b, cの3タイプで木目の方向を変化させてダボを設置しており、a, b, cそれぞれの供試体数は1としている。単調載荷実験に用いたダボ試験体のうち、基本となるのはDR-15-30-21-a, b, cであり、DR-17.5-35-21-a, b, c・DR-20-40-21-a, b, c・DR-15-40-21-a, b, c・DR-25-30-21-a, b, cは、ダボ長さ（ホゾ穴深さ）x, yを、DR-15-30-42-a, b, c・DR-15-30-63-a, b, cは、ダボせいzを、それぞれ変えた試験体で、各々の寸法を大きくすることによる構造性能向上を図った試験体である。また、DC-15-30-21-a, b, cは、ホゾ穴加工を簡便にするため、ダボ断面を円形としたものである。CR-15-30-21-a, b, cは、ダボを板の表面に配置した千切タイプの試験体であり、後付けが可能であるが、一方で、ダボの面外への抜け出しなどによる性能低下も予想される試験体である。なお、本実験では、このタイプの試験体は、実験中のダボの挙動を目視で観察することも目的としている。また、ダボ長さ（ホゾ穴深さ）x, yは、xとyとで異なる値としているが、これは以下の理由による。板壁の組み立て時には、例えば、基本形のダボ形状について言えば、ダボの30mm側を下側の板ホゾ穴に先組みしておいて、残る15mm側に上側の板をかぶせる形で施工する。従って、後で板を設置する側は板をはめこみやすいよう、短めのホゾ穴としている。また、ホゾ穴の穿孔は機械加工する場合もあるが、今回の実験ではノミに

表1 単調載荷実験に用いたダボ試験体一覧

試験体	x	y	z	断面	形式
DR-15-30-21-a, b, c	15.0	30	21	矩形	ダボ
DR-17.5-35-21-a, b, c	17.5	35	21	矩形	ダボ
DR-20-40-21-a, b, c	20.0	40	21	矩形	ダボ
DR-15-40-21-a, b, c	15.0	40	21	矩形	ダボ
DR-25-30-21-a, b, c	25.0	30	21	矩形	ダボ
DR-15-30-42-a, b, c	15.0	30	42	矩形	ダボ
DR-15-30-63-a, b, c	15.0	30	63	矩形	ダボ
DC-15-30-21-a, b, c	15.0	30	21	円形	ダボ
CR-15-30-21-a, b, c	15.0	30	21	矩形	千切

$\frac{DR}{x} - \frac{15}{y} - \frac{30}{z} - \frac{21}{a}$
x, y, z, d: 図 1 参照
木目方向: 図 2 参照
 DR: 矩形ダボ, DC: 円形ダボ, CR: 矩形千切

表2 繰返し載荷実験に用いたダボ試験体一覽

試験体	x	y	z	断面	形式
DR-15-30-21-a, b	15.0	30	21	矩形	ダボ
CR-15-30-21-a, b	15.0	30	21	矩形	千切
DR-15-30-21-A-1, 2	15.0	30	21	矩形	ダボ
DR-15-30-21-N	15.0	30	21	矩形	ダボ
DR-15-30-21-A'	15.0	30	21	矩形	ダボ

DR - $\frac{15}{x}$ - $\frac{30}{y}$ - $\frac{21}{z}$ - a

木目方向, 鉛形式: 図 2 参照

DR: 矩形ダボ, CR: 矩形千切

表 3 材料定数一覽

	単調載荷実験		繰返し載荷実験	
	ヒノキ	ケヤキ	ヒノキ	ケヤキ
縦圧縮強度 (N/mm ²)	38.38 (6.1)	55.11 (3.0)	40.26 (2.2)	49.68 (5.4)
含水率 (%)	13.6 (2.5)	12.2 (1.0)	12.5 (1.7)	11.3 (5.2)
密度 (g/cm ³)	0.43 (5.7)	0.70 (2.1)	0.45 (1.2)	0.64 (1.9)

() 内の数値は変動係数 (%)

図3 荷重－変形関係（単調荷重実験）

表4 実験結果一覧（単調荷重実験）

試験体		K0 (kN/mm)	Pp (kN)	K2 (kN/mm)	P10 (kN)	試験体		K0 (kN/mm)	Pp (kN)	K2 (kN/mm)	P10 (kN)
DR-15-30 -21-a, b, c	ave	5.34	1.07	0.23	6.78	DR-15-30 -42-a, b, c	ave	2.04	2.10	0.42	8.02
	50%	3.65	0.91	0.22	6.51		50%	1.82	2.06	0.38	7.72
	CV	25.0	26.6	7.0	8.8		CV	18.4	3.7	6.5	13.6
DR-17.5-35 -21-a, b, c	ave	3.27	1.72	0.28	7.84	DR-15-30 -63-a, b, c	ave	5.54	0.89	0.34	8.69
	50%	3.00	1.45	0.26	7.62		50%	4.70	0.75	0.33	8.53
	CV	14.2	27.9	4.8	11.4		CV	26.2	28.2	3.2	6.0
DR-20-40 -21-a, b, c	ave	3.46	1.62	0.29	7.93	DC-15-30 -21-a, b, c	ave	1.67	1.96	0.25	6.20
	50%	3.09	1.34	0.28	7.85		50%	1.57	1.90	0.24	6.10
	CV	18.7	20.9	1.9	5.7		CV	9.6	5.0	2.8	5.1
DR-15-40 -21-a, b, c	ave	5.20	1.21	0.26	7.97	CR-15-30 -21-a, b, c	ave	2.65	1.48	0.19	5.74
	50%	4.77	1.19	0.25	7.89		50%	2.35	1.39	0.17	5.37
	CV	14.5	2.4	1.8	6.4		CV	19.7	9.8	11.3	19.6
DR-25-30 -21-a, b, c	ave	3.45	1.40	0.26	7.31	ave : 平均値, 50% : 信頼水準 75%の 50%下限値, CV : 変動係数 (%) K0, Pp, K2, P10 : 図 4 参照					
	50%	3.32	1.06	0.25	7.22						
	CV	6.5	23.1	2.0	7.2						

よる手作業の加工とした。また、穴底のクリアランスはゼロとした。

表2には繰返し荷重実験に用いたダボ試験体一覧を示す。このうち、DR-15-30-21-A-1, 2（試験体末尾の-1, 2で区別される試験体は同一形状の試験体）・DR-15-30-21-N・DR-15-30-21-A'はDR-15-30-21-a, bと同一形状であるが、図2に示すように、ダボに鉛を使用することで、架構の荷重-変形関係のループ面積を、板壁のダボという局所的な部材で増大させることを試みた試験体である。なお、各試験体とも供試体数は1としている。

繰返し荷重実験における加力サイクルピーク時の変形量（板のず

れ量）は、板壁架構における柱の変形が概ね剛体変形に近いものとみなして、架構全体の変形角 γ と板壁を構成する板1枚のせい平均値 h （ $=225\text{mm}$ ）より、板と板の間のずれ量 $L=h \times \gamma$ を算定し、実大模型実験^{1), 2)}の加力サイクルにあわせて $\gamma = \pm 1/240, 1/120, 1/60, 1/30$ radに対応する板のずれ量 $L = \pm 0.9375, 1.875, 3.75, 7.5\text{mm}$ で、正負1回ずつの繰返し荷重を行なった。

表3に使用した木材の材料定数を示す。使用した木材は板が国産のヒノキ、ダボが国産のケヤキで、材料定数はJIS Z 2101に準じた試験による値である。

図4 表4・表5の諸量

3. 実験結果とその考察

3.1 単調載荷実験

図3に、各試験体のダボ1本当たりの載荷荷重（以下、荷重と記述）と両端の板と中央の板の鉛直方向相対変位（以下、変位と記述）の関係を示す。なお、変位は、図1に示す点AB間および点BC間の鉛直方向相対変位の平均値である。表4には、実験結果の一覧を示しており、表中に示す諸量の意味と算定方法については、図4に示している。このうち、初期剛性は載荷初期段階の接線勾配、第2勾配は変位 $\delta = 4 \sim 10$ mmの範囲の接線勾配としている。なお、単調載荷実験では加力装置の関係で最大荷重までの載荷を行っていないため、実験における最終的な荷重として変位10mm時の荷重値を挙げている。また、実際の施工では板壁内に設置するダボの木目方向を意図的に揃えて配置することはしないことを考慮し、表4の平均値、下側信頼水準75%の50%値、変動係数は、木目方向については区別せずに、試験体名末尾のa, b, cで表される木目方向以外が同一のパラメーターである3体のデータから求めている。

図4より、荷重－変位関係は全体的に初期の急な勾配から次第に緩やかな勾配へ移行する曲線となった。勾配が緩くなる付近から、木の割れまたはこすれる音が生じ始め、加力後の観察では、ほとんどの試験体でダボ両端に繊維方向の割れが生じていた。また、加力中は面外への大きな傾き・変形や左右のダボの大きな変形状の相違、千切の面外への抜け出しなどは生じなかった。なお、図4中の各試験体ごとの3本の荷重－変形曲線は、木目方向の異なる曲線であるが、試験体によってばらつき具合が異なり、全体的に木目方向に関しての明確な傾向はみられなかった。表3に示す材料定数の変動係数に比べて表4に示す実験結果の変動係数が大きめであることから考えると、材料的なばらつきよりもダボとホゾ穴の間のガタつき具合など個々の試験体ごとの製作上の違いの影響が大きいことが考えられる。

表4より、ダボの変形特性と明らかな相関関係が見られる項目としてはダボ長、ダボせい、断面形状が挙げられる。

ダボ長の影響（ダボ埋込み長（ホゾ穴長）、DR-15-30-21-a, b, c・DR-17.5-35-21-a, b, c・DR-20-40-21-a, b, c・DR-15-40-21-a, b, c・DR-25-30-21-a, b, cの比較）については、第2勾配は埋込み長 x, y がともに長い方がやや大きめの値となったが、埋込長が長くなったことでダボと板との間の接触域が変化するとともに、ダボの破壊が進んだ後のダボのホゾ穴からの抜け出しが防止されるためと思わ

図5 単調載荷実験におけるダボ周辺の破壊状況

れる。また、第2勾配がやや増えることで変位10mm時の荷重もやや増加した。

ダボせいの影響（ダボせい、DR-15-30-21, 42, 63-a, b, cの比較）については、第2勾配と変位10mm時の荷重はせいが大きい方が大きめの値となったが、ダボ長の影響の場合と同様、引き抜けが防止されたためと思われる。また、第2勾配が増えることで変位10mm時の荷重も増える。また、DR-15-30-21, 42, 63-a, b, cでは、断面積、断面2次モーメントに比例するほどの初期剛性の増加は見られず、載荷初期の板のずれ量に対するダボ自身のせん断・曲げ変形の影響は小さいものと考えられる。

断面形の影響（矩形、円形、DR, DC-15-30-21-a, b, cの比較）については、初期剛性は円形断面の方が小さい値となり、初期剛性が小さくなることで変位10mm時の荷重も円形断面の方が小さくなった。実験による初期剛性の差は、断面形状の違いに伴う断面性能（曲げ剛性、せん断剛性）の差よりも大きく、載荷初期の段階ではホゾ穴入り口部分での円形断面のめり込み面積が小さかった影響があるものと思われる。

図5には、千切タイプのCR-15-30-21-a, b, cの目視によるダボ周囲の破壊状況の観察結果の模式図を示す。千切タイプは埋込タイプのダボとは異なるものであるが、埋込タイプは加力中の内部の観察が不可能であるため、ダボの破壊性状の目安として目視による観察が可能な千切タイプについての結果を示すものである。ダボ全体は載荷の初期から剛体的に回転し、比較的変形の小さな段階からホゾ穴入口部分で板繊維方向・ダボ繊維直交方向の双方にめり込みが生じた。最も損傷が激しいのは(2)、(7)の接触面であり、ダボの繊維直交方向および板の繊維方向へのめり込みが卓越する。(4)、(6)、(9)では接触面が狭く、(2)、(7)ほどのめり込み抵抗は期待できないが、(6)の接触面は埋込長が長いタイプの場合は板側のめり込み跡がより明確に残ることから、ダボの剛体回転を抑える効果が期待できる。

3.2 繰返し載荷実験

図6に繰返し載荷実験における各試験体のダボ1本当たりの荷重－変位関係を示す。また、表5には実験結果の一覧を示す。なお、表5中の諸量は荷重－変形関係の包絡線について図4に示した手

図6 荷重－変形関係（繰返し載荷実験）

法を用いて求めたものであり、正負の符号は、図1において下向きに載荷した場合を＋、上向きに載荷した場合を－としている。全試験体とも荷重－変形関係はスリップ性状を示した。

図7には、単調載荷実験の場合と同様に、ダボの破壊経過の目安として、目視による観察が可能な千切タイプについて、その破壊経過を荷重－変形関係とともに示す。なお、CR-15-30-21-bの破壊経過もCR-15-30-21-aとほぼ同様であった。破壊経過は、概ね、以下の通りである。

- 1) ホゾ穴入口部分で板繊維方向・ダボ繊維直交方向の双方がめり込みながら変形の増加とともに荷重が増加していく。
- 2) ダボの繊維直交方向の割れなどの損傷が広がった点で最大荷重となる。
- 3) ダボの15mm側のホゾ穴部分が抜け出して側板と中央板の間にはさまれる形となり、ダボと板の接触面ですべるたびに荷重の上下を繰返ししながら全体としては徐々に荷重が低下していく。
- 4) ダボの抜け出しがある程度大きくなりダボが板に沿ってすべるだけの状態になると荷重値がほぼ一定になる。

千切全体の変形は、単調載荷実験と同様に剛体変形の割合が大きく、板の繊維方向と千切の繊維直交方向の接触部分の双方がめり込みながら破壊が進む。

埋込タイプの試験体については、加力中の板内部の様子を観察することができないため、CR-15-30-21-a, bの破壊経過、加力終了後のダボと板の状況、加力中に若干広がる中央板と側板の間の隙間から観察したダボの状況などから破壊経過を推察した。

CR-15-30-21-a, bと同じ材質・形状で、ダボを埋込タイプとしたDR-15-30-21-a, bについては、変形10mm付近までは概ねCR-15-30-21-a, bと同様の経過をたどるが、それ以降の荷重低下は小さかった。

板状の鉛を木材に挟み込んだDR-15-30-21-A-1, 2では、ダボの木部については、木ダボの場合と同様のめり込み性状となるが、鉛部については、ほぼ鉛部のみがめり込み変形した。また、最終的には、ダボの木部と鉛部は剥離し、木・鉛とも2つに切断された。

鉛のみのDR-15-30-21-Nでは、板の角部の鉛ダボへのめり込みが

表5 実験結果一覧（繰返し載荷実験）

試験体		K0 (kN/mm)	Pp (kN)	K2 (kN/mm)	Pmax (kN)
DR-15-30-21-a	＋	1.27	2.06	0.18	5.74
	－	0.81	-3.24	0.81	-3.58
DR-15-30-21-b	＋	1.44	2.08	0.22	6.88
	－	0.72	-2.52	0.72	-3.26
CR-15-30-21-a	＋	1.89	1.25	0.16	5.09
	－	1.24	-1.64	1.24	-4.00
CR-15-30-21-b	＋	1.42	1.91	0.15	5.16
	－	1.98	-2.67	1.98	-4.20
DR-15-30-21-A-1	＋	1.85	2.06	0.27	6.81
	－	1.03	-2.95	1.03	-3.99
DR-15-30-21-A-2	＋	1.59	1.47	0.17	6.77
	－	0.80	-2.79	0.80	-4.85
DR-15-30-21-N	＋	1.08	1.99	0.22	3.59
	－	0.76	-2.29	0.76	-2.83
DR-15-30-21-A'	＋	1.48	1.87	0.37	6.10
	－	0.74	-3.28	0.74	-3.55

＋：正載荷時（図1の下方向への載荷）

－：負載荷時（図1の上方向への載荷）

K0, Pp, K2：図4参照（包絡線より算定）

Pmax：最大荷重

卓越し、めり込みが進んだ点で最大荷重となった。また、最終的には、鉛ダボは2つに切断されて荷重はほぼゼロとなった。

円柱状の鉛を木材に挿入したDR-15-30-21-A'では、ホゾ穴入り口部分で板繊維方向・ダボ繊維直交方向の双方にめり込みが生じ、鉛周辺のダボ木部が大きく折損した点で最大荷重となったが、鉛挿入のための木部の欠損が大きかったため、木部の損傷は木ダボの場合よりも大きかった。

表6に埋込タイプの試験体の±2～4サイクルの荷重－変形関係のループ面積の比較結果を示す。鉛ダボの効果は、荷重・変形のレベルが大きくなる±4サイクルで顕著となり、平均的には鉛板を木板ではさんだDR-15-30-21-A-1, 2がループ面積は最大となった。

図7 ダボの破壊経過 (CR-15-30-21-a 試験体)

表6 繰返し載荷重実験における荷重-変形関係のループ面積の比較

試験体	cycle±2 変形角 1/120	cycle±3 変形角 1/60	cycle±4 変形角 1/30
DR-15-30-21-a	1.64 (0.91)	9.55 (0.97)	38.99 (0.98)
DR-15-30-21-b	1.95 (1.09)	10.13 (1.03)	40.48 (1.02)
DR-15-30-21-A-1	0.84 (0.47)	9.89 (1.00)	58.23 (1.47)
DR-15-30-21-A-2	1.16 (0.64)	6.43 (0.65)	41.06 (1.03)
DR-15-30-21-N	1.35 (0.75)	9.53 (0.97)	44.71 (1.16)
DR-15-30-21-A'	2.12 (1.18)	9.68 (0.98)	42.15 (1.06)

単位: kN・mm, ()内は DR-15-30-21-a, b の平均値に対する比

これは、木部の破壊が他の2タイプに比べて急激ではなく、鉛部が大変形時まで切断されことなく変形したためと思われる。表5に示した最大荷重や初期剛性の値が木ダボのDR-15-30-21-a, bとDR-15-30-21-A-1, 2とでほぼ同等であることとあわせれば、DR-15-30-21-A-1, 2のタイプがダボとしての性能を発揮しながらループ面積の増加が可能で、最も効果的であると言える。

4. まとめ

本報告では、ダボという比較的交換が容易で設置も簡単な部材を用いた板壁の耐震性能の向上とダボの施工性の向上を図るための基礎的な研究として、ダボ単体としての単調載荷および繰返し載荷実験を行なった。

本実験により得られた主要な知見を以下に示す。

- 1) ダボ埋込み長およびダボせいが大きいほど、荷重-変形関係における剛性低下後の2次勾配、荷重値は増加する。これは、大変形時のダボの抜け出しに対する抵抗力が増加するためと思われる。
- 2) ダボ断面が同寸法で、矩形、円形と形状が異なる場合、矩形より円形の場合の方が初期剛性は減少する。これは、断面形状の違いに伴う断面性能(曲げ・せん断剛性)の違いに加えて、ホゾ穴入り口付近でのダボと板のめり込み性状の差の影響が考えられる。

- 3) ダボの変形はダボと板の接触部分のめり込み変形が卓越し、ダボのせい、断面が異なる場合でも、断面性能に比例するほどの初期剛性の増減は見られない。
- 4) 繰返し載荷時には、載荷初期の段階からホゾ穴入り口付近でダボ繊維直交方向と板繊維方向の双方のめり込みが生じ、荷重-変形関係はスリップ性状を示し、最終的には板と板の間に挟まれながら抜け出して荷重が低下した。
- 5) 本研究で新たに考案した3つのタイプの鉛入りダボのうち、木板の間に板状の鉛を挟み込むタイプのダボは、木材のみのダボと同程度の耐力を維持しながらエネルギー吸収能力を高めることができ、最も効果的であった。

なお、本報の実験では、パラメータごとの供試体が少ないこともあり、定量的数値の把握には至っておらず、製作精度などによる試験体ごとのばらつきなども含めた検討は今後の課題としたい。

参考文献

- 1) 木内修, 山田利行, 貞広修, 河内武: 新・耐震化伝統木造架構の実大水平加力実験(その1 試験体の設計と実験計画の概要), 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, pp. 145-146, 1999. 9
- 2) 河内武, 木内修, 貞広修, 木村誠, 福本敦子: 新・耐震化伝統木造架構の実大水平加力実験(その6 板小壁の架構実験), 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, pp. 501-502, 2006. 9
- 3) 花里利一, 荻原幸夫, 稲山正弘, 大倉靖彦, 三井所清典, 坂本功: 木造伝統構法五重塔の設計における構造安全性の検討, 日本建築学会技術報告集, 第7号, pp. 33-38, 1999. 2
- 4) 稲山正弘: めり込み抵抗接合の設計(貫構造), 建築技術, No. 547, pp. 106-111, 1995. 11
- 5) 日本建築学会: 木質構造設計ノート, 日本建築学会編, 丸善, pp. 321-326, 1995年
- 6) 藤田香織, 木村正彦, 大橋好光, 坂本功: 静的水平加力試験に基づく伝統的木造建築の組物の履歴モデルと剛性評価, 日本建築学会構造系論文集, No. 543, pp. 121-127, 2001. 5
- 7) 野口昌宏, 小松幸平: 木-木ボルト接合部における剛性・耐力評価法の新提案と実験による検証, 木材学会誌, 第49巻, 第2号, pp. 92-103, 2003年
- 8) 福山弘, 安藤直人, 稲山正弘, 竹村雅行, 井上雅文: 木栓によるせん断接合の解析式の提案-細長比の大きい円形断面木栓による1面せん断接合-, 日本建築学会構造系論文集, No. 622, pp. 129-136, 2007. 12
- 9) 日本建築学会: 木質構造接合部設計マニュアル, 日本建築学会編, 丸善, pp. 94-112, 2009年
- 10) 河内武, 木内修, 貞広修, 木村誠, 福本敦子: 板壁ダボの要素実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, pp. 343-344, 2005. 9
- 11) 河内武, 貞広修, 木村誠, 福本敦子: 板壁ダボの要素実験(続報 繰返し載荷実験結果), 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, pp. 79-80, 2007. 8

注) 本報告の一部は文献10)~11)に発表している。

[2012年6月20日原稿受理 2012年8月17日採用決定]