

木造建築部材の耐久性向上技術に関する研究

福留重人*, 日高富男*

Study on Durability Improvement Technology of Wooden Structure Component

Shigeto FUKUDOME and Tomio HIDAKA

木造軸組工法建物の床下空間における通風及び採光を改善させるために、柱を直接基礎に設置して床束及び軸ボルトを用いて大引と基礎を繋結する工法を開発した。また、新工法の構造性能を検証するために、接合部及び軸組壁体の水平加力試験及び振動試験を実施した。その結果、開発した木造軸組工法は、従来工法と同等の耐力を有し、振動による応答加速度を低減させることが明らかになった。

Keyword: 木造軸組工法, 床束, 軸ボルト, 水平加力試験, 振動試験

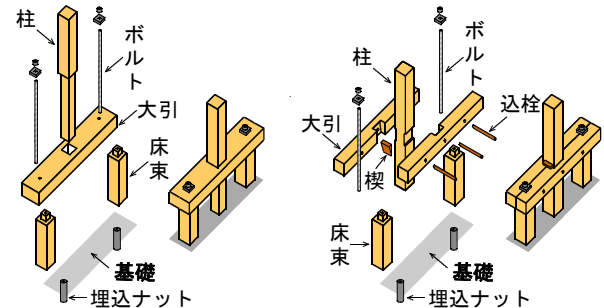
1. 緒言

木造軸組工法建物では耐震性確保のために基礎上に土台を設置する方式が採用されているが、通風及び採光の面から床下空間が腐朽菌やシロアリの生育に適した環境になりやすいことが知られている¹⁾。そのため、現状の建築物では、土台等の主要構造部材に防虫・防腐処理を施すことが一般的になっている。しかしながら、薬剤による処理は、居住者の健康問題や建築部材廃棄後の環境汚染等が懸念されるため、物理的な対策に移行することが望まれている。そこで、本研究では、木造軸組工法建物に用いる部材の耐久性向上を図ることを目的として、床下空間における通風及び採光を確保する新たな軸組工法の検討を行った²⁾。今後、この工法を普及させるためには、建物に用いた場合の構造信頼性を高めることが重要となるため、新工法による軸組試験体を作製し、構造性能の検証を行った^{3)~5)}。

2. 実験方法

2.1 軸組の構成方法

軸組の構成方法として、図1(1)に示すような横架材(大引、鴨居、桁等)に設けた角穴に柱を貫通させる形式(以下、差し柱形式)と、図1(2)に示すような相欠き加工した横架材2本で柱を両側から挟む形式(以下、挟み柱形式)を考案した。差し柱形式は、鹿児島県奄美大島の伝統的民家で用いられているヒキモン工法^{6)~10)}の接合方法を活用した構造形式である。この工法では一般的な軸組工法建物に用いられる横架材より材幅を大きくするため、今後増加傾向にあるスギ大径材の有効活用が期待される。一方、間伐材などの比較的小断面の部材でも活用可能な構造形式として、挟み柱形式を検討した。



(1) 差し柱形式

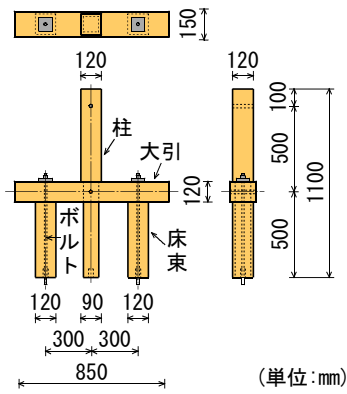
(2) 挟み柱形式

図1 軸組の構成方法

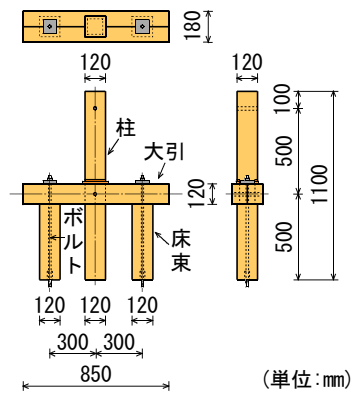
2.2 柱-大引接合部の水平加力試験

試験体は図2に示すような柱と大引を十字型に接合し、左右に床束を配した構造である。軸組構成は差し柱形式と挟み柱形式の2条件とした。両形式とも軸組材にはスギ心持材を用い、柱-横架材接合部の補強にカシ材またはスギ圧縮材による楔を用いた。また、挟み柱形式の横架材はスギ圧縮材による込栓を用いて繋結した^{11)~13)}。試験体の固定は、床束の中央部貫通穴に通したボルト(呼び径M16)を用いて大引と試験機定盤を繋結した(以下、床束軸ボルト繋結方式)。柱脚部における水平方向の移動は、拘束無と鋼管差し込み(外径27mm, 差込部長さ50mm)による拘束有の2条件とした。床束の下部は同様の鋼管差し込みにより水平方向の移動を拘束した。水平加力試験は図3及び図4に示すような油圧ジャッキ及び鋼製のジグを用いて柱の上部に水平方向の荷重を加え、ひずみゲージ式変換器を用いて荷重及び水平変位を測定した。加力スケジュールは図5に示すように、 $0 \rightarrow \pm 1/300\text{rad} \rightarrow \pm 1/150\text{rad} \rightarrow \pm 1/60\text{rad} \rightarrow \pm 1/30\text{rad} \rightarrow \pm 1/15\text{rad} \rightarrow \text{終局}$ とし、最終的に破壊するか、 $\pm 1/10\text{rad}$ まで加力した。繰り返し回数は同一変形段階で3回とした。

*地域資源部



(1) 差し柱形式



(2) 挟み柱形式

図2 柱-大引接合部の水平加力試験体

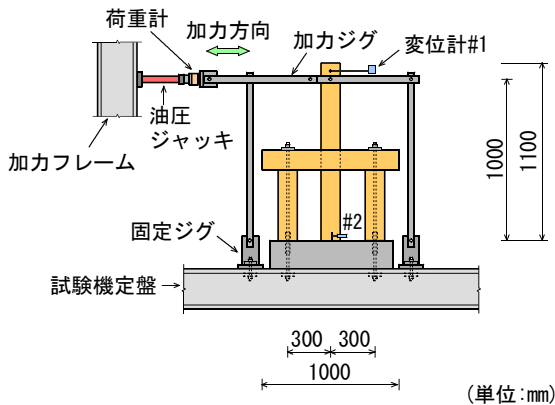


図3 柱-大引接合部の水平加力試験方法

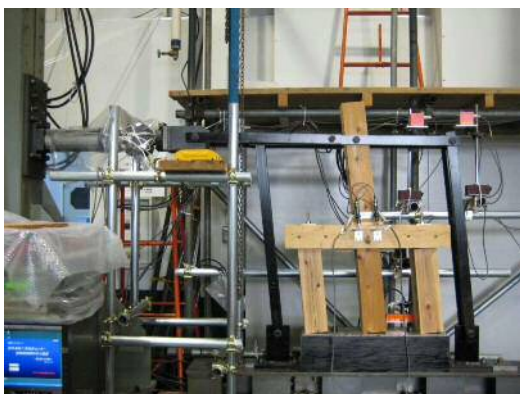


図4 柱-大引接合部の水平加力試験状況

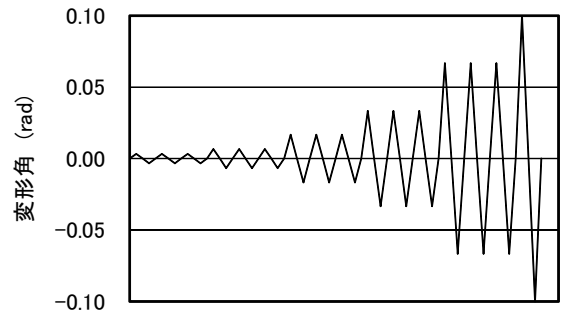
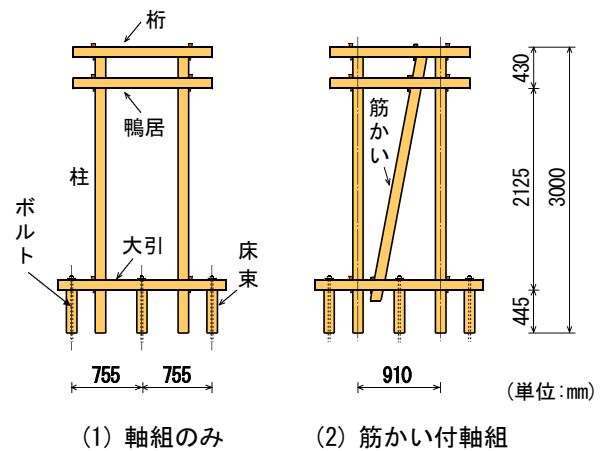


図5 加力スケジュール(柱-大引接合部水平加力試験)

2. 3 軸組壁体の面内せん断試験

試験体は図6に示すように軸組のみと筋かい付き軸組の2条件とし、軸組の構成は挟み柱形式とした。試験体の接合方法、固定条件ならびに加力方法は2. 2と同一条件とした。面内せん断試験は図7及び図8に示すように、桁端部に水平方向の荷重を加え、桁及び柱脚部の水平変位を測定した。また、大引との接合部付近の柱にひずみゲージを接着して、ひずみを測定した。加力スケジュールは図9に示すように、 $0 \rightarrow \pm 1/450 \text{ rad} \rightarrow \pm 1/300 \text{ rad} \rightarrow \pm 1/200 \text{ rad} \rightarrow \pm 1/150 \text{ rad} \rightarrow \pm 1/100 \text{ rad} \rightarrow \pm 1/75 \text{ rad} \rightarrow \pm 1/50 \text{ rad} \rightarrow \text{終局}$ とし、最大荷重に達した後、最大荷重の80%の荷重に低下するか、変形角が $1/15 \text{ rad}$ 以上に達するまで加力した¹⁴⁾。



(1) 軸組のみ (2) 筋かい付軸組

図6 軸組壁体の面内せん断試験体

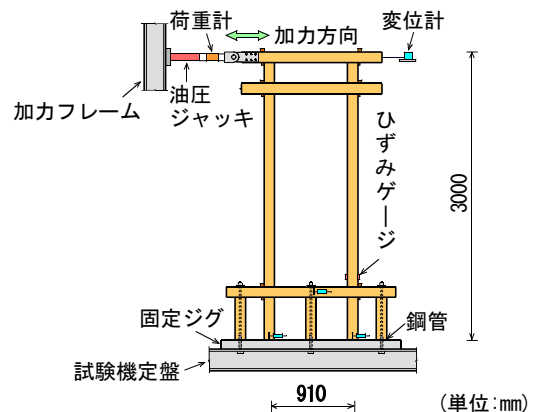


図7 軸組壁体の面内せん断試験方法

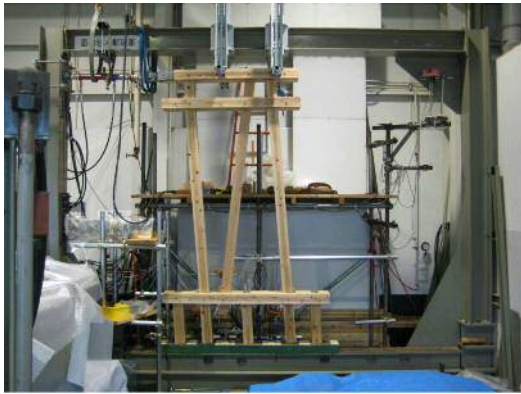


図8 軸組壁体の面内せん断試験状況

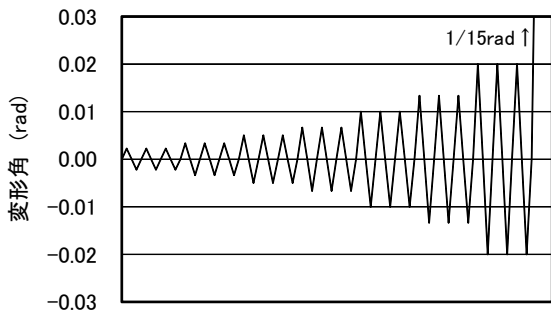


図9 加カスケジュール(軸組壁体面内せん断試験)

2. 4 立体軸組試験体の振動試験

試験体は、振動試験機のテーブル寸法及び積載重量等を考慮して、図10に示すような実大サイズの1/3程度に縮小した寸法形状とした。軸組の構成は差し柱形式とし、筋かいを加振方向の片方の壁に取り付けた。試験体は、床束軸ボルト緊結方式で振動台のジグに固定(以下ボルト固定有)と、ボルトで緊結しないで振動台のジグ上に設置(以下ボルト固定無)の2条件とした。ボルト固定有試験体の固定は、床束の中央穴に通したボルト(呼び径M6)で大引と固定ジグを緊結した。積載荷重として、大引及び桁の上部にそれぞれ300Nの錘を設置した。振動試験は図11に示すように、動電式振動試験装置を用いた正弦波制御による水平方向の一軸加振とし、サーボ型加速度計を用いて振動台及

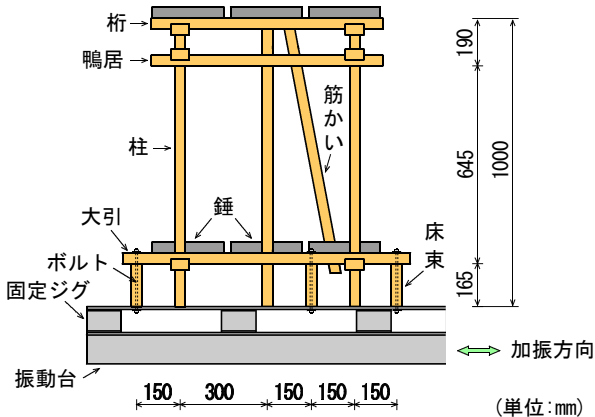


図10 立体軸組試験体及び振動試験方法

び桁の加速度を測定した。加振周波数は共振による影響を考慮して5 Hzとし、設定加速度は0.55m/s²とした。

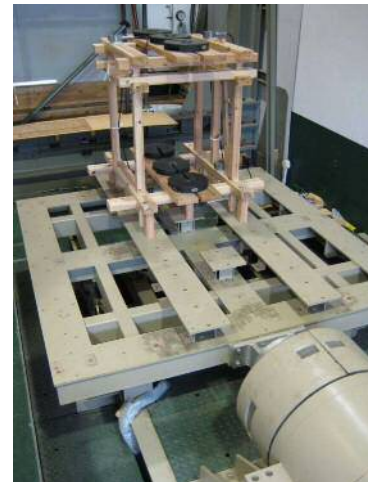


図11 立体軸組試験体及び振動試験状況

3. 結果及び考察

3. 1 柱—大引接合部の強度性能

柱—大引接合部の水平加力試験における荷重と変形角の関係について図12及び図13に、評価結果¹⁴⁾の平均値を表1にそれぞれ示す。ここで、変形角は柱上部の見かけの変形角である。また、最大荷重は、試験体が破壊した時の荷重とし、破壊が認められない場合は終局変形角(1/10rad)時の荷重とした。変形角1/120rad(約0.0083rad)時の荷

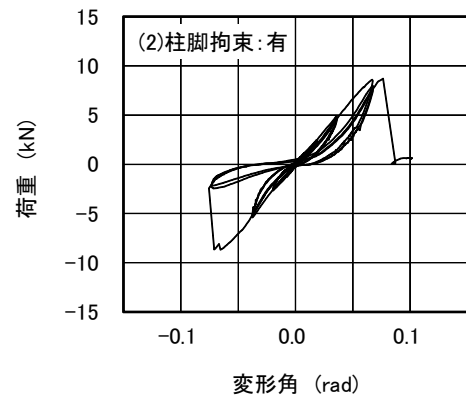
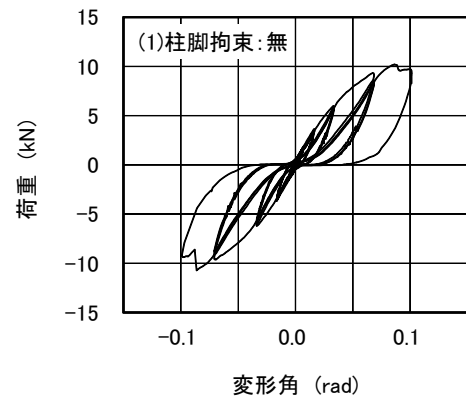


図12 柱—大引接合部水平加力試験における荷重と変形角の関係(差し柱形式)

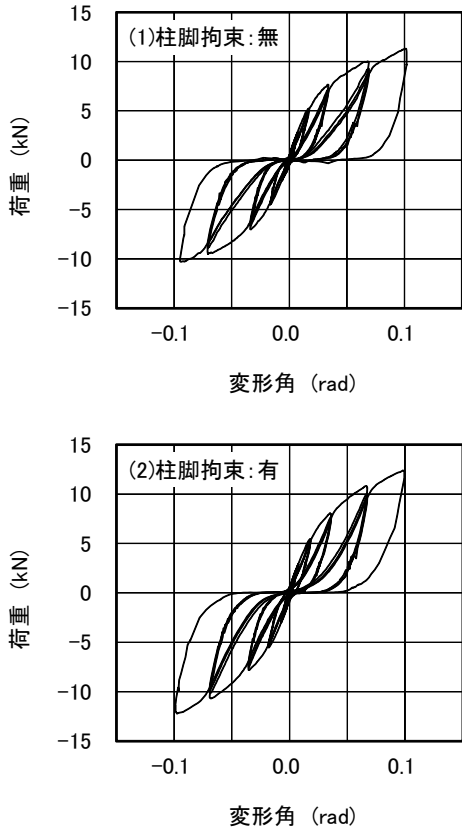


図13 柱一大引接合部水平加力試験における荷重と変形角の関係（挟み柱形式）

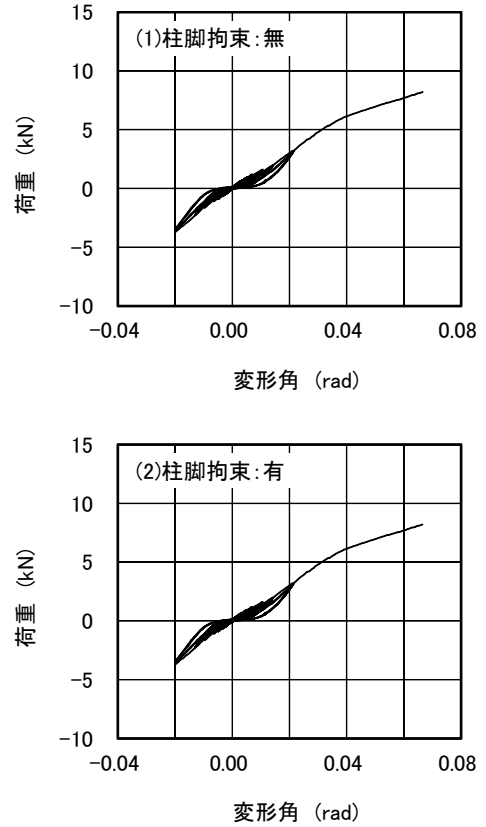


図14 軸組壁体の面内せん断試験における荷重と変形角の関係（軸組のみ）

重は、挟み柱形式が差し柱形式より60~90%程度大きい値を示した。これは、挟み柱形式では軸組の接合が相欠き加工であるため隙間が少なく、めり込み部分の初期変形が抑制されたためと思われる。降伏荷重は、柱脚部の拘束有無にかかわらず同程度の値を示した。また、差し柱形式で柱脚部を拘束した場合、図12(2)のように変形角0.0764rad付近で柱が曲げ破壊し、荷重が急激に低下する試験体があったが、拘束無の場合、終局変形角時まで荷重を維持した。

表 1 柱一大引接合部強度試験の評価結果(単位：kN)

軸組形式	柱脚拘束	1/120rad時荷重	降伏荷重	終局荷重	最大荷重
差し柱	無	1.75	6.45	9.70	10.74
	有	1.34	7.21	9.09	9.86
挟み柱	無	2.89	6.30	9.68	10.94
	有	2.58	6.96	11.07	12.62

3. 2 軸組壁体の面内せん断性能

軸組壁体の面内せん断試験における荷重と変形角の関係について図14及び図15に、荷重と柱脚部水平変位の関係を図16に、柱一大引接合部における荷重とひずみの関係を図17に、評価結果¹⁴⁾の平均値を表2にそれぞれ示す。ここで、

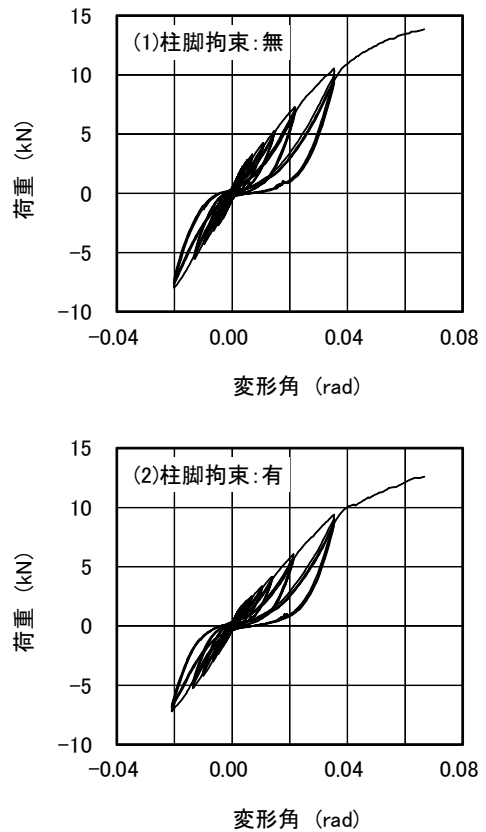


図15 軸組壁体の面内せん断試験における荷重と変形角の関係（筋かい付軸組）

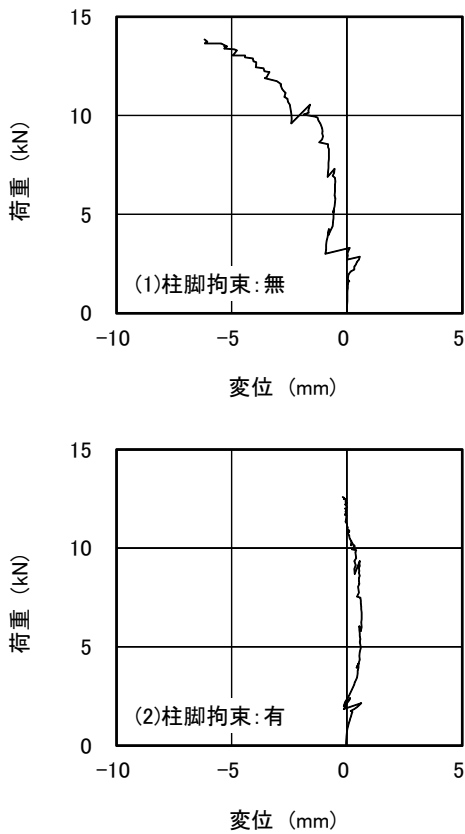


図16 軸組壁体の面内せん断試験における柱脚部の荷重と水平変位の関係 (筋かい付軸組)

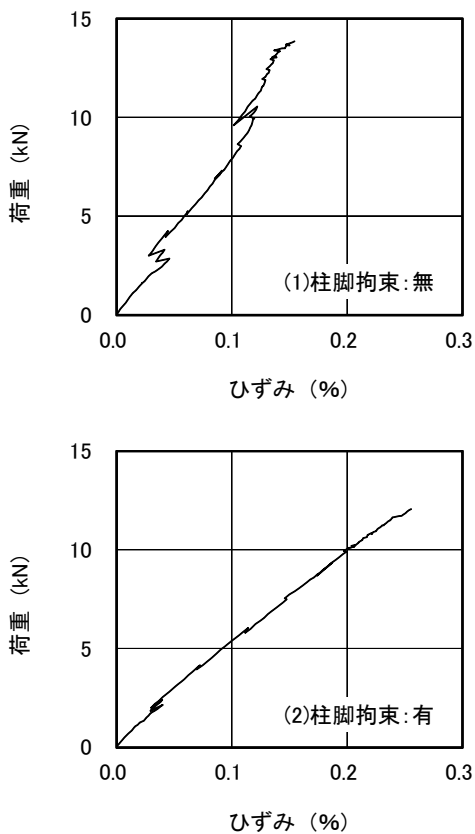


図17 軸組壁体の面内せん断試験における柱一大引接合部の荷重とひずみの関係 (筋かい付軸組)

変形角は桁の水平方向変位から求めた見かけのせん断変形角である。すべての試験体とも接合部のめり込み以外に顕著な破壊が見られず、終局変形角 (1/15rad) に至るまで荷重が増加する粘り強い変形挙動を示した。柱脚部拘束無の場合、終局変形角時に柱脚部が水平方向に約6mm移動し、ひずみは拘束有の約60%に低減された。これは柱脚部が移動することで、接合部に生じる曲げモーメントが低減されたことによると思われる。

表2 軸組壁体強度試験の評価結果 (単位 : kN)

試験体	柱脚拘束	1/120rad時荷重	降伏荷重	終局荷重	最大荷重
軸組のみ	無	1.13	5.12	6.79	7.50
	有	1.13	5.54	6.99	7.80
筋かい付軸組	無	3.49	8.86	13.10	13.84
	有	2.82	9.19	11.83	12.59

3.3 立体軸組試験体の振動特性

立体軸組試験体の正弦波制御による振動試験における加速度の時刻歴波形を図18に示す。また、測定区間における応答加速度の最大値を表3に示す。ボルト固定有における桁の加速度は、ボルト固定無に比べ、筋かい付で約75%、軸組のみで約77%の値を示した。これらの結果から、床束

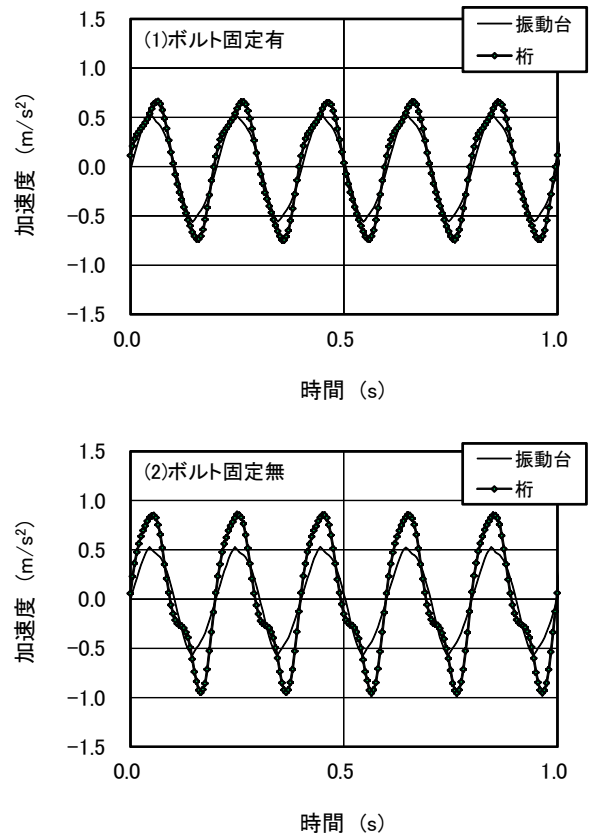


図18 立体軸組試験体の振動試験における加速度の時刻歴波形 (振動台, 桁 : 軸組のみ)

軸ボルト緊結方式により、振動による応答加速度が低減することが明らかになり、建築物の耐震性向上に寄与することが示唆された。

表3 立体軸組振動試験における応答加速度(単位: m/s^2)

ボルト 固定	振動台	桁	
		筋かい付	軸組のみ
有	0.550	0.604	0.705
無	0.550	0.803	0.910

4. 結 言

床束軸ボルト緊結方式による木造軸組試験体の強度試験及び振動試験を実施して以下の成果が得られ、開発した工法の有効性が示唆された。

- (1) 柱一大引接合部の強度性能は、差し柱形式及び挟み柱形式とも同等の数値を示しており、施工方法や部材断面等に応じて使い分けが可能である。
- (2) 床束軸ボルト緊結方式においては、柱脚部の水平移動を拘束しないことで柱一大引接合部の応力が低減され、終局時における軸組部材の破壊が抑制された。
- (3) 床束軸ボルト緊結方式による軸組壁体の面内せん断性能は、従来工法と同等の耐力を示し、終局時まで荷重が増加する粘り強い強度特性を有することが明らかになった。
- (4) 立体軸組試験体を床束軸ボルト緊結方式で固定した場合、振動による応答加速度が約25%低減された。

謝 辞

本報告における接合技術及び構造形式は、京都大学生存

圏研究所の木質材料実験棟全国共同利用研究で得られた成果を活用しました。御支援を賜りました関係各位に感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) たとえば、“アナタの住まいは大丈夫?! これで安心! シロアリ対策”, エクスナレッジ(2010)p. 128-164
- 2) 福留重人: 木科学情報, 18, 44-45(2011)
- 3) 福留重人: 日本木材学会大会要旨集, 127(2011)
- 4) 福留重人: 日本木材学会九州支部大会講演集, 49-50(2011)
- 5) 福留重人, 北守顕久, 小松幸平: 京都大学生存圏研究所木質材料実験棟平成22年度共同利用課題報告書, 17-20(2011)
- 6) 惠原義盛: “奄美生活誌”, 木耳社(1973)
- 7) 野村孝文: “南西諸島の民家”, 相模書房(1976)
- 8) 宮澤智士: “奄美大島笠利町の民家調査報告”, 日本ナショナルトラスト(1996)
- 9) 山下麻衣, 立花正彦: 日本建築学会技術報告集, 33, 779-784(2010)
- 10) 大岡悦子, 山下麻衣, 立花正彦: 日本建築学会大会学術講演梗概集C-1構造Ⅲ, 577-578(2009)
- 11) 鄭基浩, 北守顕久, 小松幸平: 木材学会誌, 53, 306-312(2007)
- 12) 北守顕久, 小松幸平, 大丸隆, 片岡靖夫: 日本建築学会大会学術講演梗概集C-1構造Ⅲ, 391-392(2003)
- 13) 福留重人: 鹿児島県工業技術センター研究報告, 22, 43-46(2008)
- 14) (公財)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)p. 563-572