ドリフトピン接合部を用いた二層木質ラーメン構造の実験的研究

EXPERIMENTAL STUDY ON THE TWO STORY TIMBER FRAME STRUCTURE USING DRIFT PIN JOINTS

荘所直哉 — *1 大野義昭 — *2
藤谷義信 — *3 大橋好光 — *4

Naoya SHOJO — *1 Yoshiaki OHNO — *2
Yoshinobu FUJITANI — *3 Yoshimitsu OHASHI — *4

キーワード:

実大実験, 木質ラーメン構造, 構造用 LVL, ドリフトピン, モーメント抵抗接合部

Keywords:

Full-scale experiment, Timber frame structure, Structural LVL, Drift pin, Moment-resisting joint

In this paper, the static loading experiment on the two story timber frame structure using drift pins are reported. The experiment was carried out in two construction stages. The first stage is the one in which the columns, the beams and the floors were constructed, and the second stage is the one in which the bearing walls were added to them. The contribution to the stiffness of this wooden structure by the frame and the bearing walls are examined experimentally.

1. はじめに

木質住宅構造のストック価値を向上させるには、構造材の耐久性向上, 住み手が間取りを変更しやすい構造空間の確立が必要であり, 建替ることなく利用できる住宅の工法開発が要求されている。木質ラーメン構造は, 住まい手のライフサイクルに適応しやすく, リフォームにおいても動かし難い耐力壁から開放される躯体システムであり, 住宅のストック価値向上のために有効であると考えられる。

筆者らがこれまで報告した木質ラーメン構造の接合部に関する研究では, 丸鋼とドリフトピンを用いた接合部を提案し, 実験や数値シミュレーションを通してモーメント抵抗接合部の性能を評価してきた^{1), 2)}。これらの検証により, 提案したモーメント抵抗接合部を用いた木質ラーメン構造の建設が可能となり, 2層2方向の木質ラーメン構造物を建設した。本報は, これを試験体として行った静的加力実験の架構の荷重-変位関係についてのみ述べる。実験は2段階の建設過程で行った。第1段階は柱, 梁等で構成したラーメン架構および床構面の施工が終了した時点(以後, 骨組段階)で, 第2段階は第1段階の躯体に在来軸組工法の耐力壁を追加設置した時点(以後, 壁付段階)である。

2. 試験体概要

2.1 構造概要

構造方法は, ラーメン構造に一部在来軸組工法で使用する耐力壁を併用させた。柱, 梁等の主要構造部には構造用 LVL を使用し, 耐力壁は厚さ 9mm の構造用合板, 床構面は厚さ 28mm の構造用合板を使用した。主要構成材料の一覧を表 1 に示す。

試験体の構造伏図, 骨組図を図 1 に示す。ラーメン架構は Y0-X0-Y1-X1 通りで囲まれた区画と Y0-X2-Y1-X3 通りで囲まれた区画の

表 1 主要構成材料一覧

	樹種 材種	規格 機械等級区分	断面(mm) 幅×せい
柱(大)	ラジアータパイン 構造用 LVL	JAS 規格 曲げヤング係数区分 110E	360×360
柱(小)	ラジアータパイン 構造用 LVL	JAS 規格 曲げヤング係数区分 80E	105×105
大梁	ラジアータパイン 構造用 LVL	JAS 規格 曲げヤング係数区分 110E	150×480
小梁	ラジアータパイン 構造用 LVL	JAS 規格 曲げヤング係数区分 110E	105×240

図 1 試験体の構造伏図および骨組図

*1 明石工業高等専門学校建築学科 助手・博士(工学)
(〒674-8501 兵庫県明石市魚住町西岡679-3)

*2 ㈱ウッドワン住宅構法開発室 室長・博士(工学)

*3 広島国際大学社会環境科学部 教授・工博

*4 武蔵工業大学工学部 教授・工博

*1 Research Assoc., Akashi National College of Technology, Dr. Eng.

*2 Manager, WOOD ONE Co., Ltd, Dr. Eng.

*3 Prof., Hiroshima International University, Dr. Eng.

*4 Prof., Musashi Institute of Technology, Dr. Eng.

辺に配置してあり、区画の辺には大梁を設けている。Y0-X0-Y1-X1とY0-X2-Y1-X3通りで囲まれたラーメン架構の区画には2mの間隔を設けているが、これは静的加力実験でこの間にジャッキを噛ませ、お互いのラーメン架構の区画を反力壁として加力するためである。壁付段階の実験では、1, 2階の外周部に在来軸組工法の耐力壁を設けた。図中の▲印は耐力壁位置を示し、カッコ外の数値は壁倍率、カッコ内の数値は壁長さを示す。また、Pはモジュールを示し1P=1mとする。ラーメン架構で囲まれた2つの区画の剛性を等しくするため、2つのラーメン架構で囲まれた区画の壁量は等しくした。

試験体の写真を図2に示す。

図2 試験体の様子 (左：骨組段階、右：壁付段階)

2.2 柱-梁接合部および柱脚接合部の仕様

柱-梁接合部の接合方法は、丸鋼を柱と梁に挿入し、丸鋼にドリフトピンを打ち込み固定する。ドリフトピンの打ち込み間隔は柱側を60mm、梁側を120mmとし、1本の丸鋼につき柱側5本、梁側5本の計10本、接合部全体では20本のドリフトピンを使用する。2方向ラーメン構造なので、柱-梁接合部ではX方向とY方向の丸鋼がぶつかる。そのためにY方向の丸鋼を60mm下げた。

柱脚接合部の接合方法は、基礎にアンカーした丸鋼に柱を挿入し、丸鋼にドリフトピンを打ち込み固定する。ドリフトピンの打ち込み間隔は120mmとし、ドリフトピンの本数は1本の丸鋼につき5本とし、接合部全体では20本のドリフトピンを使用する。接合部の詳細を図3に、施工時の様子を図4に示す。

図3 接合部詳細図 (左：柱梁部、右：柱脚部)

図4 施工時の様子 (左：柱梁部、右：柱脚部)

2.3 小梁接合部および床組の仕様

ラーメン架構で囲まれた区画の内部は小梁を配置して床組を形成した。小梁の接合部はモーメントに抵抗しない。接合方法は、3本のボルトで大梁に緊結した2つ折りの鋼板を小梁に挿入し、2本の鋼管ピンによって固定する(図5参照)。

図5 小梁接合部の仕様

床組は火打ち梁と根太を省略し、28mmの構造用合板を直接床組に釘止めた面材張り床構面である。面材の短辺方向はN75を用いて間隔150mmで横架材に川の字となるよう釘打ちし、面材の長辺方向はφ9のドリフトピンで面材の長手方向相互の接合をした。

3. 静的加力実験

3.1 実験方法

実験は柱、梁等で構成したラーメン架構および床構面の施工が終了した骨組段階と骨組段階の躯体に在来軸組工法の耐力壁を追加設置した壁付段階の2段階で行った。各段階ともに同様の実験を行った。試験体各部の変位とひずみについて測定した。試験体に設置した変位計の設置位置を図6に、ひずみゲージの設置位置を図7に示す。ひずみゲージはY0-X0-Y1-X1通りで囲まれたユニットのみ測定をした。

図6 変位計の設置位置 (括弧内はY1通りの番号)

図7 ひずみゲージの設置位置

加力は2つの区画の中央に設置した油圧ジャッキにより正負交番繰返しで行う。ジャッキの設置高さは小屋レベルとし、2つの区画のうち、主な測定対象はY0-X0-Y1-X1通りで囲まれる区画で、このときY0-X2-Y1-X3通りで囲まれる区画は反力壁の役割を果たす。以下の表2に繰返しサイクル数と試験体の変形角および小屋レベルの変位の関係について示す。

表2 繰返しサイクル数と試験体の変形の関係

サイクル数	1	2	3	4	5	6
変形角 (rad)	±1/450	±1/300	±1/225	±1/150	±1/100	±1/75
変位 (mm)	±11.9	±17.9	±23.8	±35.7	±53.6	±71.5

3.2 実験結果

実験は、骨組段階で120kN、壁付段階で150kN程度の最大荷重を加えた。これは当初 $C_0=0.2$ で設計した水平力の5倍以上の荷重を加えたことになる。しかし、ラーメン架構の骨組には全く損傷は見られなかった。壁付段階では、1/100radを超えた辺りから合板耐力壁の破壊音が響き、釘の滑りも目立つようになったが、骨組には損傷は見られなかった。

Y0-X0-Y1-X1通りで囲まれる区画において、骨組段階、壁付段階でロードセルより測定された荷重値と1,2層の層間変位の関係について以下の図3、図4に示す。

1, 2層の層間変位は次式により算出した。

- 1層の層間変位 ${}_1\delta$

$${}_1\delta = (\delta_2 + \delta_{22})/2 - (\delta_{41} + \delta_{43})/2$$

- 2層の層間変位 ${}_2\delta$

$${}_2\delta = (\delta_1 + \delta_{21})/2 - (\delta_2 + \delta_{22})/2$$

図8 1層の層間変位 (左: 骨組段階, 右: 壁付段階)

図9 2層の層間変位 (左: 骨組段階, 右: 壁付段階)

4. 静的加力実験の検証

4.1 検証方法

検証は、3次元の試験体をY0, Y1通りの2次元のフレームに置き換えて行う。2次元のフレームに置き換えて考えるとき、各通り

のフレームが負担する荷重が問題となるが、ここでは次の2通りの方法によってY0, Y1通りのフレームが負担する荷重を決定する。

Case1) ロードセルで測定された荷重値を用いる方法

剛床仮定が成立し、試験体がねじれない場合、荷重はY0, Y1通りに均等に分配されると考える。よって、Y0, Y1通りが負担する荷重はロードセルで測定された1/2の荷重となる。

Case2) ひずみゲージから層せん断力を算出する方法

各層を4分割するように柱に配置したひずみゲージの測定値にヤング係数を乗じて曲げモーメント求め、せん断力を算出する(図10参照)。ここでヤング係数はヤング係数区分の110Eを用いた。

図10 フレームの曲げモーメントとせん断力

図10より、各通りのフレームが負担する荷重 P は次式により算出する。本来、荷重 P は Q_1+Q_1' もしくは Q_2+Q_2' であるが、ここでは各層の平均値の和とした。

$$Q_1 = (M_{11} + M_{12})/h_1, \quad Q'_1 = (M_9 + M_{10})/h_1$$

$$Q_2 = (M_5 + M_6)/h_2, \quad Q'_2 = (M_3 + M_4)/h_2$$

$$P = (Q_1 + Q'_1)/2 + (Q_2 + Q'_2)/2$$

また、各層、各通りの変位は次式により算出する。

- 1層の層間変位 ${}_1\delta$

$${}_1\delta_{Y0} = \delta_2 - \delta_{41}, \quad {}_1\delta_{Y1} = \delta_{22} - \delta_{43}$$

- 2層の層間変位 ${}_2\delta$

$${}_2\delta_{Y0} = \delta_1 - \delta_2, \quad {}_2\delta_{Y1} = \delta_{21} - \delta_{22}$$

4.2 フレームの荷重-層間変位関係

Y0, Y1通りのフレームが負担する荷重と各層の層間変位の関係について調べる。Case1, Case2のそれぞれの仮定により算出した荷重と層間変位の関係を図11~図12と、図13~図14に示す。

図11 Case1 (骨組段階) の荷重-層間変位関係

図 12 Case1 (壁付段階) の荷重-層間変位関係

図 13 Case2 (骨組段階) の荷重-層間変位関係

図 14 Case2 (壁付段階) の荷重-層間変位関係

4.3 考察

Case2において、両段階共に Y1 通りより Y0 通りの方が若干荷重の負担が大きくなっている。これは加力を Y0 通りと Y1 通りの中央一ヶ所で行っているため、試験体がねじれて各通りに等分に荷重が流れていないためであると考えられる。また、各通りの変位値からもねじれていることがわかる。

骨組段階の Case1 と Case2 では荷重-層間変位関係は比較的一致しているが、壁付段階では Case1 の荷重が大きくなった。Case2 は柱のひずみ値から荷重を算出しているため、耐力壁の荷重負担を考慮することができないためであると考えられる。

ここで、耐力壁が負担する荷重を次式から算出した。試験体がねじれたことによって生じる各通りの耐力壁の負担割合が不明である

ため、各通りで均等に割り振った。

$$P_w = \{P_L - (P_{Y0} + P_{Y1})\} / 2$$

ここに、

P_w : Y0 通り, Y1 通りの耐力壁の負担荷重

P_L : ロードセルにより測定された荷重

P_{Y0}, P_{Y1} : 各通りのフレームが負担した荷重

骨組段階と壁付段階における骨組、耐力壁の層剛性について比較した (表 3 参照)。層剛性は、1/150rad 時の変形角に相当する各層の変位と荷重の関係から算出した。また、構面としての性能評価として、同様に 1/150rad 変形時の荷重を表 4 に示す (共に Case2 で評価)。

表 3 層剛性の比較 (単位: kN/m)

層	通り	骨組段階	壁付段階		
			骨組	耐力壁	全体
1	Y0	2310	1810	840	2650
	Y1	1790	1390	850	2240
2	Y0	1840	1420	820	2240
	Y1	1420	1010	680	1690

表 4 性能評価一覧 (単位: kN)

通り	骨組段階	壁付段階		
		骨組	耐力壁	全体
Y0	39.4	32.3	14.9	47.2
Y1	31.4	23.8	15.1	38.9

骨組段階で一度加力したため、壁付段階の骨組では層剛性が約 400kN/m 低くなっていることが分かる。また、骨組と耐力壁の剛性比はおおよそ 1:2 で骨組の剛性が高いことが分かった。耐力壁が負担している耐力が約 15.0kN で壁倍率換算すると約 3.5 倍となる。設置した耐力壁の壁倍率は 2.5 倍なので、ばらつきや安全率などを考慮すると期待通りの耐力を発揮したと考えられる。

5. まとめ

ドリフトピンを用いた二層木質ラーメン構造の静的加力実験を行った。以下にまとめを示す。

- ・設計に用いた水平力の 5 倍を超える水平力に対しても骨組には全く損傷は見られず、耐震性は高いと考えられる。
- ・骨組と耐力壁の剛性比を比較すると 2:1 で骨組の剛性が高いことが分かった。

謝辞

本研究に対し御協力を頂きました岩井哲先生 (広島工業大学)、松本慎也先生 (広島大学)、広島大学、熊本県立大、広島工業大学の学生をはじめとする多くの関係者に深く感謝致します。

【参考文献】

- 1) 大野義昭, 植島裕二, 庄所直哉, 乃込寛之, 藤谷義信, 大橋好光: ドリフトピンを用いた木質ラーメン構造の柱-梁接合部に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 567 号, pp.85-92, 2003.5
- 2) 庄所直哉, 藤谷義信, 植島裕二, 乃込寛之, 大野義昭, 大橋好光: ドリフトピンを用いた木質ラーメン構造の柱-梁接合部に関する研究 その 2 モーメント抵抗要素の実験と実大実験での検討, 日本建築学会構造系論文集, 第 578 号, pp.91-97, 2004.4
- 3) 庄所直哉, 植島裕二, 大野義昭, 藤谷義信, 大橋好光: 木質ラーメン構造の接合部に関する研究 その 14, 15, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東海) pp.29-32, 2003.9
- 4) 庄所直哉, 藤谷義信, 植島裕二, 大野義昭, 大橋好光: 常時微動測定による木質ラーメン構造の振動特性に関する研究, 構造工学論文集, Vol.49B, pp.579-584, 2003.3

[2005年4月19日原稿受理 2005年7月22日採用決定]