

国産材を使った新しい木造建築の開発 (ファスナーを使用した混合構造の研究) Development of the new wooden structure using Japanese wood

尾形素臣[†], 安井秀夫^{††}, 堀内泰久^{†††}
織田麻衣子^{††††}, 小川大貴^{†††††}
Ogata Motoomi[†], Yasui Hideo^{††}, Horiuti Yasuhisa^{†††}
Oda Maiko^{††††}, Ogawa Daiki^{†††††}

Abstract. The purpose of this study is that the wood is used as structural material factory of large-span steel structure were mainly low-rise warehouses, and stores. Since the conifer grows upright. It can be used as column material is suitable. To be used as material for this beam, the effectiveness of the steel is not enough. The large span loe-tise structure pillar for this-wood, beams-a mixture of steel frame structure is valid. Challenge to achieve such a mixed structure the development of wood and steel fasteners are joined to become the most important issue. The first study aimed to clarify the basic properties of the fastener and its development. Because the strength that was enough for a fastener was recognized, the development of the joint using the fastener became the important problem to realize mixed structure. IVY fastener and the end plate joint using the iron plate in the joint. Generally, a bolt of the wood structure is with a pin joint. Then strut and angle brace materials are necessary. Therefore materials increase, and construction becomes difficult. In addition, the cost rises, too. However, the end plate joint can constitute the housing which construction is simple, and is extremely high in rigidity. In addition, it does not need strut and angle brace materials and can make a big window with wooden construction and can realize a free façade. It is finally aimed for the realization of the wooden bent using thinning materials and this method of construction.

1. 研究目的

日本は森林国であり、その新たな利用開発が近年の課題となっている。現状として、住宅は木構造のものが多く、新たな利用先にはなり難いので、鉄骨造で建築されている低層大スパン建築物（工場等）に構造材として木材を使用することを考えた。通常大スパンを木造で造るとトラスを組む必要があり、梁成が大きくなるので低層大スパン構造には柱を木材、梁を鉄骨にした混合構造が有効である。

- † 愛知工業大学 建築学科 教授（豊田市）
- †† 愛知工業大学 建築学科 教授（豊田市）
- ††† (有) 堀内建築研究所（名古屋市）
- †††† (有) シービーリサーチ（名古屋市）
- ††††† (有) シービーリサーチ（名古屋市）

このような混合構造を実現するための課題は木材と鋼材接合部の開発が重要となり、それを実現するために前年

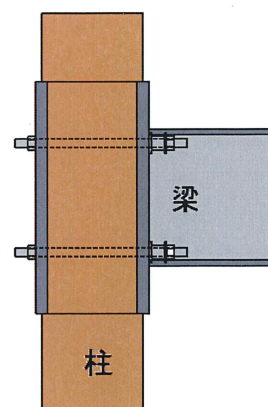


図1 エンドプレート接合

度に開発した IVY ねじとエンドプレートを使用した新しい仕口を開発する。これをエンドプレート接合と呼称する。

一般的な木構造のボルト接合はピン接合となりブレースや方杖材等が必要となる。そのため構成部材の数が増え、施工が容易ではなくなる。それに伴いコストも高くなり普及さ

せることが難しくなる。間伐材の小径木材の使用には簡便で、かつ剛な接合方法の開発が必須である。エンドプレート接合では、簡単な金具で極めて剛性の高い架構を構成できる。さらに、剛性が高いのでブレース等が不要となり木材で大きな開口部を得ることができ、ファサードの自由度が増す。最終的には間伐材とこの工法を利用した木造ラーメン工法の実現を目的に据える。

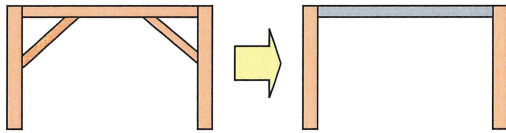


図 2 木材と鉄骨による混合構造

2. 仕口の開発

2.1 IVY ファスナーを使用した混合構造の実験

エンドプレート接合金具を用いた仕口を作製し、せん断試験を行った。ボルトは低コストであり、従来の接合法と同等の剛性、耐力を発揮する IVY ねじを利用した。間伐材が鉄骨材に替わる有効な構造材であると証明することと、間伐材と IVY ねじによる簡単な接合法により、従来の接合法のような強度を発揮することが出来れば、利用拡大への第一歩となる。

仕口部の試験体を作製しその基本性能を確かめると共に、1/2 程度のスケールで架構を作製して、その剛性を確かめる。

木材は 150mm×150mm、長さ 2000mm の愛知県産のスギ集成材を使用し、ネジ下穴径は 100mm とした。

梁には H 型鋼の H-200×100×5.58 を使用した。

強度等級	E65 - F225 を使用	
圧縮強度	F _c	16.7N/mm ²
引張強度	F _t	14.6N/mm ²
曲げ強度	F _b x	22.5N/mm ² (積層方向)
曲げ弾性係数	E _b	6.5kN/mm ²

表 1 スギ集成材基礎的性状

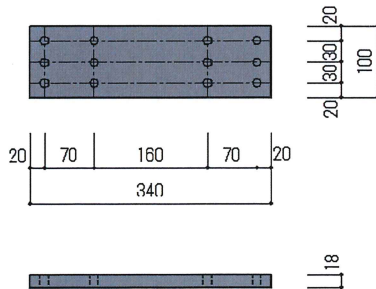


図 3 エンドプレート詳細

2.2.1 仕口試験

試験体は 3 種類作製した。

ピッチ@160mm の間隔で 4 本止め

ピッチ@300mm の間隔で 4 本止め

ピッチ@300mm の間隔で 2 本止め

ナットはトルク値 400kgf/cm で締め付けた。

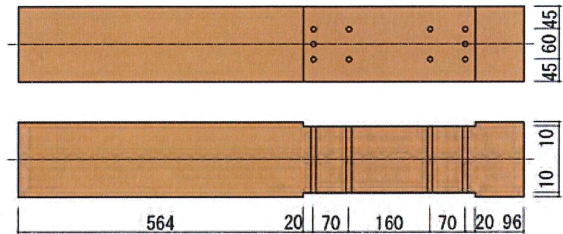


図 4 木材全体図

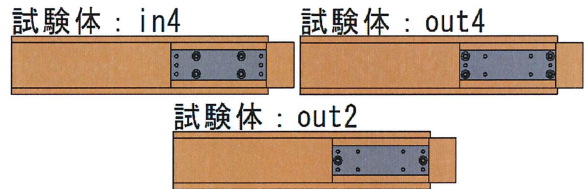


図 5 試験体図

2.2.2 実験方法

引き抜き耐力を測定するためにボルト下部にロードセルを設置し、回転角を測定するために仕口中心より 600mm の位置に変位計を設置して測定を行った。加圧点も同様に 600mm の位置とした。

加圧は手動式油圧ジャッキを使用し、上下 2 方向より交互におこなった。

制御値は回転角 (Rad) で行い、+1/200, -1/200+2/200, -2/200, +3/200, -3/200 の値を使用した。

荷重は上からの力を「+」、下方向からの力を「-」とする。

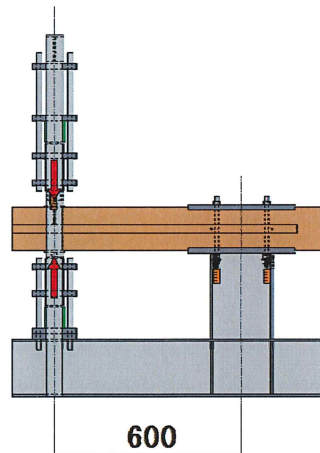


図 6 試験体設置状況図

2.2.3 試験結果

ボルトの本数が2本の場合は、ボルト単体の実験で得られた最大引抜荷重を超えてしまったので、使用しないこととした。

4本の場合は、引抜耐力が許容引抜耐力より下回ったので、仕口としては使用可能である。

変位が2/300になるまで荷重をかけたが、ボルトとナットには変化は見られなかった。

以上の結果を踏まえて、フレームの実験ではボルト4本の方を採用する。

全ての試験体について、木構造における仕口の許容回転角 ($\theta = 0.03\text{rad}$) を下回る結果になった。

木構造においては十分に実用に耐える仕口であることが確認された。

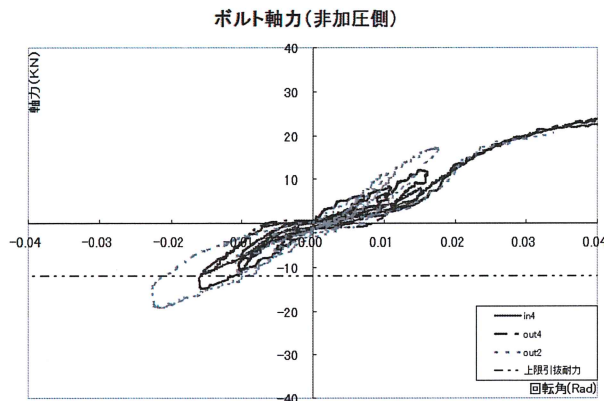


表2 仕口回転角グラフ

		in4					
回転角		1/200	2/200	3/200	2/200	3/200	3/200
モーメント	N・M	16	-25	25	-46	48	-69
引抜耐力	N/cm	49	-76	76	-138	142	-205
許容引抜耐力	N/cm	647		513		349	
回転角	rad	0.01	-0.01	0.01	-0.01	0.02	-0.02
許容回転角	rad	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
回転剛性	Kbs	325,360	497,390	252,840	459,070	315,766	454,305
最大荷重	N	24,000					
		out4					
回転角		1/200	2/200	3/200	2/200	3/200	3/200
モーメント	N・M	361	-368	379	-651	721	-898
引抜耐力	N/cm	108	-110	149	-194	215	-268
許容引抜耐力	N/cm	647		513		349	
回転角	rad	0.01	-0.01	0.01	-0.01	0.02	-0.02
許容回転角	rad	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
回転剛性	Kbs	649,802	729,663	360,000	640,052	480,320	582,279
最大荷重	N	27					
		out2					
回転角		1/200	2/200	3/200	2/200	3/200	3/200
モーメント	N・M	353	-372	773	-680	956	-941
引抜耐力	N/cm	105	-111	204	-203	286	-281
許容引抜耐力	N/cm	647		513		349	
回転角	rad	0.01	-0.01	0.01	-0.10	0.02	0.02
許容回転角	rad	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
回転剛性	Kbs	672,000	704,858	754,170	66,245	633,430	623,046
最大荷重	N	21,000					

※回転剛性 $K=M/\theta$

表3 試験結果一覧

3. ラーメン構造の開発

3.1 ラーメン構造試験

試験体は2体作製した。仕口部はIVYネジを使用し、160mmの間隔で4箇所接合した。ナットを2重ナットとし、トルク値400kgf/cmで締め付けた。支点はピン接合とした。

3.2 実験方法

本試験における変位の測定は、試験体の梁上下のエンドプレート接合金具にデータロガーを設置し、引張力と圧縮力を測定した。また、架構の回転角と、仕口部の回転角を測定するために変位計を取りつけ変位を測定した。[試験体2]では、支点部の回転角を測定するため、変位計を追加した。

加圧は手動式油圧ジャッキを使用し、左右2方向より交互におこなった。

制御値は仕口部の回転角 (Rad) で行い、+1/200, -1/200, +2/200, -2/200, +3/200, -3/200の値を使用した。

左からの荷重を「+」、右方向からの力を「-」とする。データ整理にあたり、左右回転角を比較するために、右側の回転角の正負を逆にした。

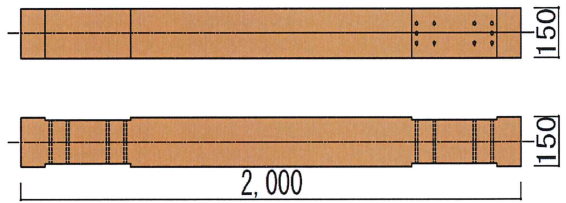


図7 木材全体図

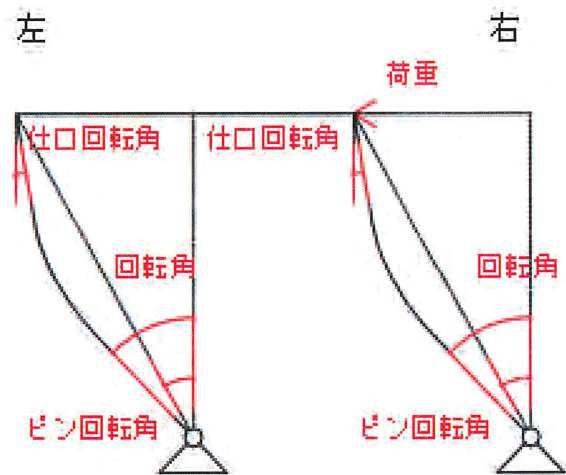


図8 計測位置

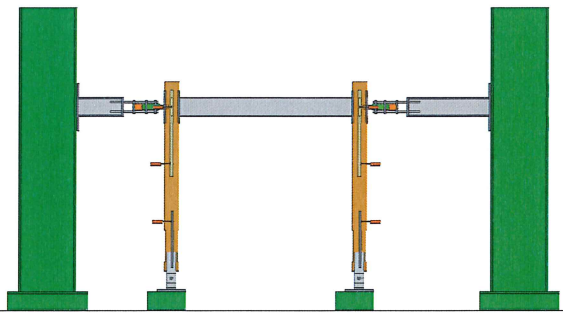


図 9 試験体設置状況
試験体 1

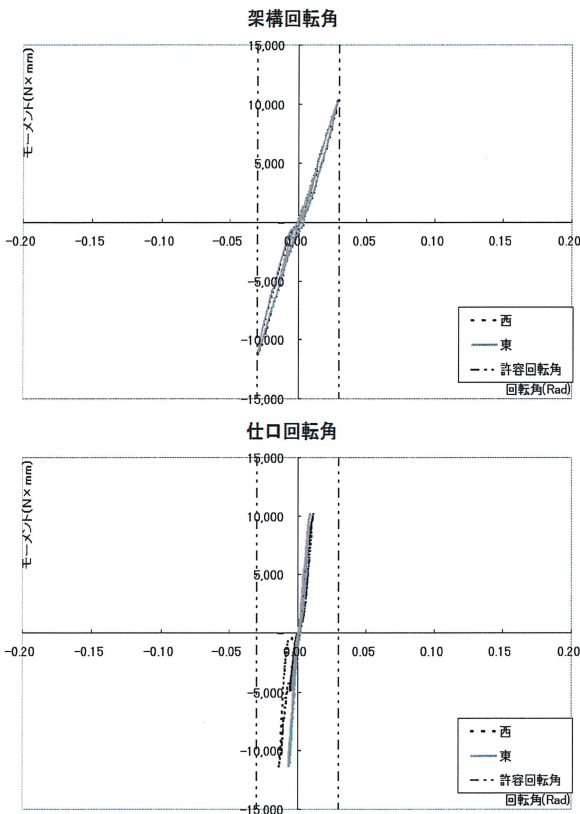
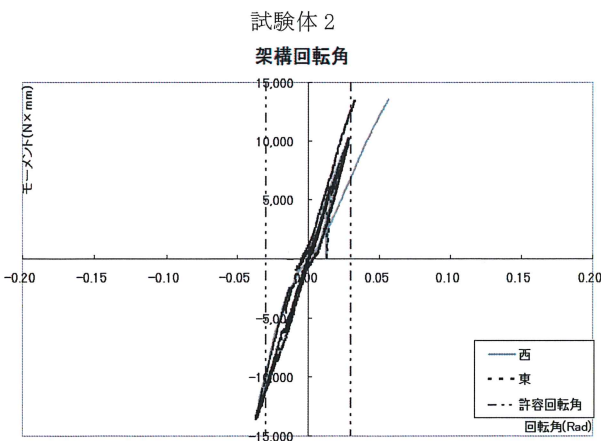


表 4 回転角グラフ 1



試験体 2

架構回転角

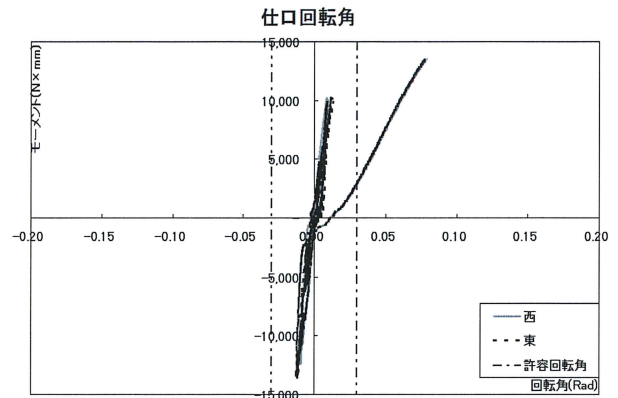


表 5 回転角グラフ 2

3.3 試験結果

鉄骨梁の回転角は、木造部分に比べて数百分の一と微小なため計算より除外した。

架構全体の回転角に対して、仕口部の回転角の割合は約 1/3 であった。破壊時において仕口部で壊れることは無く、柱部が曲げにより破壊された。

柱の曲げ性能が大きかったことから、2 体目では支点部の回転角を測定した。その結果、支点部に比べて、仕口部の回転角の割合は約 1/10 であった。

層間変形角 (設定値)	回転角		仕口回転角		回転角/仕口回転角	
	西 Rad	東 Rad	西 Rad	東 Rad	西 Rad	東 Rad
ラーメン1						
±1/200	0.015	0.015	0.006	0.004	0.382	0.297
	-0.012	-0.012	-0.005	-0.004	0.442	0.300
±2/200	0.029	0.029	0.011	0.009	0.393	0.308
	-0.030	-0.030	-0.014	-0.006	0.461	0.213
3/200	0.045		0.016		0.350	
ラーメン2						
±1/200	0.0152	0.0153	0.004	0.006	3.570	2.561
	-0.0153	-0.0156	-0.004	-0.006	3.718	2.487
±2/200	0.0271	0.0273	0.011	0.011	2.542	2.454
	-0.0335	-0.0330	-0.009	-0.011	3.524	2.989
3/200	0.0277	0.0282	0.009	0.024	3.189	1.177

表 6 試験結果一覧 1

回転角	ラーメン1			
	1/200	2/200	3/200	
曲げモーメント N・M	1,064	-847	2,034	-2,270
回転角 rad	0.02	-0.01	0.03	-0.03
許容回転角 rad	0.03	0.03	0.03	0.03
回転剛性 Kbs	354,760	-282,240	678,160	-756,560
最大荷重 N	20,290			
ラーメン2				
回転角	1/200	2/200	3/200	
曲げモーメント N・M	1,217	-1,259	1,986	-2,476
回転角 rad	0.02	-0.02	0.03	-0.03
許容回転角 rad	0.03	0.03	0.03	0.03
回転剛性 Kbs	405,779	-419,567	661,853	-825,346
最大荷重 N	16,170			

表 7 試験結果一覧 2

4. 構造計算例

許容曲げモーメントはボルト4本のため4倍とし、柱が木であるため低減値0.7(実験値)をかける。

$$M_V = 4 \times I_{VW_a} \times \sigma_V \times H \times 0.7 \approx 11.1 \text{ (kN} \cdot \text{m)}$$

M_V : 許容曲げモーメント

I_{VW_a} : IVYねじの断面積

σ_V : ボルトの降伏点強度

H: ボルトの有効長さ

・許容回転角が1/20以下の場合

$$Ph/2 \leq M_V \quad P \leq 2M_V/h \approx 12.3 \text{ (kN)}$$

$$W \times 0.2 \leq 12.3 \quad W \leq 12.3/0.2 \approx 6.2 \text{ (kN)}$$

この場合、最大で6.2kNの強度を持つ。

・許容回転角が1/50以下の場合

$$P \leq 7.3 \text{ (kN)} \quad W \leq 3.6 \text{ (kN)}$$

この場合、最大3.7kNの強度を持つ。

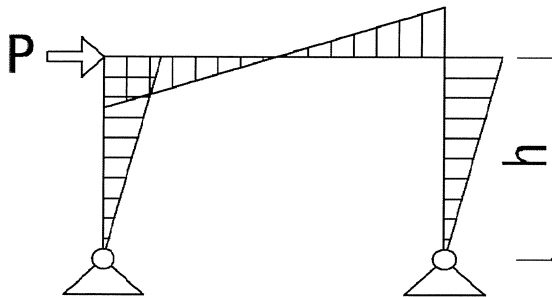


図10 曲げモーメント図

5. 結果のまとめ

実験より IVY ネジ4本以上であれば、柱の曲げモーメントとせん断力で壊れることなく負担させることが可能である。

また仕口部と架構全体の回転角の割合は約 1/3 であった。1/10 以下を目標として設定していたため、剛接合とは言い難い結果となった。

しかし、接合方法としては良好な結果が得られたことから、後もこのエンドプレート接合を使用して開発を進めていけば、剛接合とする事が可能であると思われる。

6. 参考文献

・2012年 愛総研・研究報告 国産材を使った新しい木造建築の開発