

接合表面に山形加工を施した集成材モーメント抵抗接合部の提案

塚本 泰久

1. 序

近年、構造部材としての集成材利用の増加に伴い、モーメント抵抗接合部を有するラーメン構造への適応も多く見られるようになってきている。木質材料を用いたモーメント抵抗接合部では、一般的にボルトやドリフトピンが用いられる。ボルト接合部では、先行孔とボルト間のクリアランスによる初期ガタが避けられず、剛性の低下が構造上大きな問題点となる。一方、ドリフトピンを用いた接合部は比較的安定した初期剛性が得られるものの、支圧による降伏後の割裂破壊やピンの抜けが生じ、耐震性能上重要な靱性に乏しい。木質系材料を用いたラーメン構造形式をより性能の高いものにするには、初期剛性、耐力、靱性それぞれに安定した性能を示す接合形式が求められている。

そこで、本研究では、Fig.1に示すように集成材の接合表面に山形加工を施し、その山形どうしを噛み合わせてボルトで締め付けることにより、初期剛性、耐力、靱性のいずれにも優れた性能を有するモーメント抵抗接合部を提案する。本論文では、この新しい接合部の可能性を検証するとともに、基本接合具の2面せん断実験に基づいて剛性と耐力の評価式の提示を試みる。

2. 接合表面に山形加工を施したモーメント抵抗接合部の曲げ実験

提案するモーメント抵抗接合部の可能性を検証するため、柱梁接合部を想定した曲げ実験を行い、従来から用いられているボルト接合部との比較を行う。

2.1 実験概要 試験体一覧を Table1 に、代表的な4種類の接合部試験体の詳細を Fig.2 に示す。試験体は全てラミナ厚 32mm、曲げヤング係数 12.3 ~ 13.2kN/mm² (125 ~ 135t/cm²) のべいまつ集成材を使用した。接合形式は主材を2枚の側材で挟み込んだ集成材側材式とした。提案する山形加工接合部 (Mシリーズ) のパラメータは山の角度 θ (30° および 45°)、ボルト本数、側材の鋼板 (t=2mm) の有無である。山のピッチ

Fig. 1 Details of Proposed Moment Resisting Joint

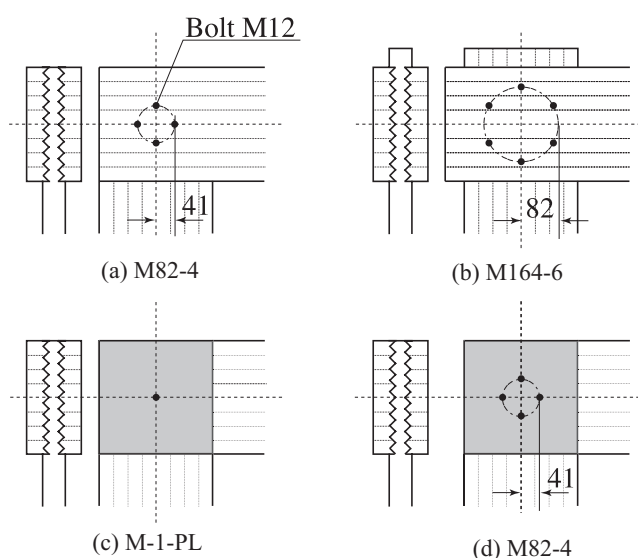


Fig.2 Details of Test Specimen

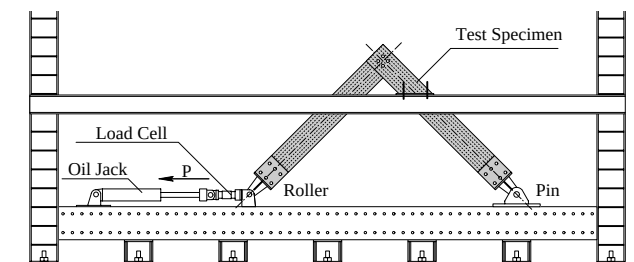


Fig. 3 Test Setup

Table 1 List of Test Specimens

Test Specimens	Sectional Dimension of Main Member	Sectional Dimension of Side Member	L (mm)	Number of bolt	Radius of Arrangement (mm)
N82-4	□50×250	□50×250	1818	4	82
N164-6	□50×250	□50×250	1818	6	164
M-1	□50×250	□50×250	1818	1	-
M-1-PL	□50×250	□50×250	1818	1	-
M82-4	□50×250	□50×250	1818	4	82
M82-4-PL	□50×250	□50×250	1818	4	82
M164-6	□50×250	□50×250	1860	6	164
M164-2-4D	□50×250	□50×250	1860	2	164
M164-8	□50×250	□50×250	1860	8	164

Table 2 Experimental Results

Test Specimens	K (kN · m/rad)	M_y (kN · m)	θ_y (rad)	M_m (kN · m)	θ_m (rad)
N82-4	1436	8.2	0.0057	20.2	0.2402
N164-6	2028	6.2	0.0030	67.9	0.1126
M-1	3803	36.0	0.0138	65.7	0.0607
M-1-PL	4428	48.7	0.0133	86.3	0.0411
M82-4	6320	60.3	0.0111	98.1	0.0434
M82-4-PL	6299	100.8	0.0171	163.3	0.0561
M164-6	7936	103.2	0.0242	166.4	0.0473
M164-2-4D	1949	40.9	0.0138	65.0	0.0850
M164-8	6949	111.2	0.0173	172.5	0.0470

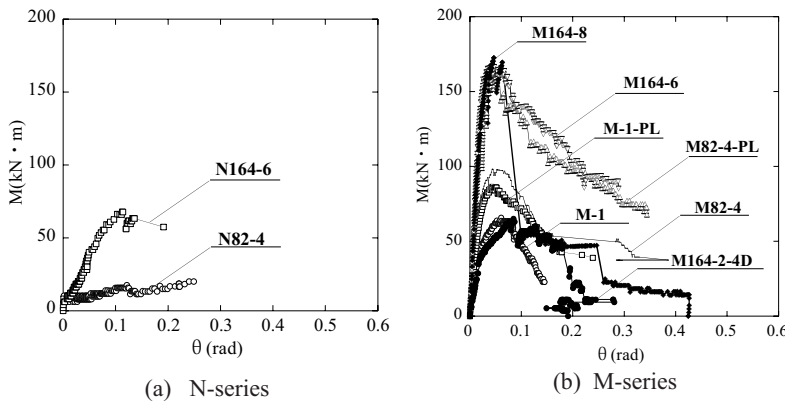


Fig. 4 M-θ Relations

p はいずれの試験体も25mmとした。比較する従来タイプの接合部にはボルトを用い（Nシリーズ）、いずれも規準¹⁾を満足する端空きの範囲で最も多くボルトを配した。

荷重はFig.3に示すように20tf油圧ジャッキによって主材材端に水平力を加え、破壊まで荷重した。加力点である主材材端をローラー支承、側材材端をピン支承とした。

2.2 モーメント抵抗接合部の実験結果 各試験体の接合部作用モーメント M と接合部回転角 θ の関係をFig.4(a)(b)に示す。また、完全弾塑性モデルにより求めた初期剛性 K 、最大耐力 M_m をTable2に示す。(a)が従来タイプのNシリーズ、(b)が提案するMシリーズである。

ボルト接合部では、初期ガタによるすべりが見られ、最大耐力も70kNm弱であったのに対し、山形加工を施したMシリーズではボルト本数や側材鋼板の使用に応じて極めて大きな耐力上昇が見られた。ボルト本数の等しいN164-6とM164-6で比較すると、山形加工接合部は初期剛性で4倍、最大耐力で約3倍の性能が確認できた。また、接合部パネルゾーンに1本だけのボルトを配した試験体M-1でも従来型で6本のボルトを配したN164-6に対し約2倍の初期剛性とほぼ等しい最大耐力を示した。

また、ボルト本数の増加に従って初期剛性、耐力ともに高くなっていると同時に、側材表面に鋼板を配した試験体では主材と側材の開きを押さえる拘束効果が上がり、ボルト配置が同じであっても初期剛性、耐力ともに大きな増加が観察された。

以上のことより、提案する山形加工接合部は従来のボルトを用いた接合部に比べて極めて高い初期剛性と耐力を有しており、木質構造のモーメント抵抗接合部として十分な可能性を持つものといえる。

3. 山形接合部の二面せん断実験

前章で示した山形加工モーメント抵抗接合部の挙動を理論的に評価するため、基本接合要素を用いた二面せん断実験を行った。本章ではまず、二面せん断実験の概要と実験結果について述べる。

Table 3 List of Test Specimens

Test Specimens	Type	Number of Mountain	θ (deg)	Diameter of Washer 25(mm)	Diameter of Washer 36(mm)	Diameter of Washer 48(mm)
N12.5	N	-	-	○	○	○
N20	N	-	-	○	-	-
N25	N	-	-	○	○	○
M12.5-30	M	3	30	○	○	○
M20-30	M	3	30	○	○	○
M25-30	M	3	30	○	○	○
M12.5-45	M	3	45	○	○	○
M25-45	M	3	45	○	○	○
2-M25-45	M	2	45	○	○	○
4-M25-45	M	4	45	○	○	○

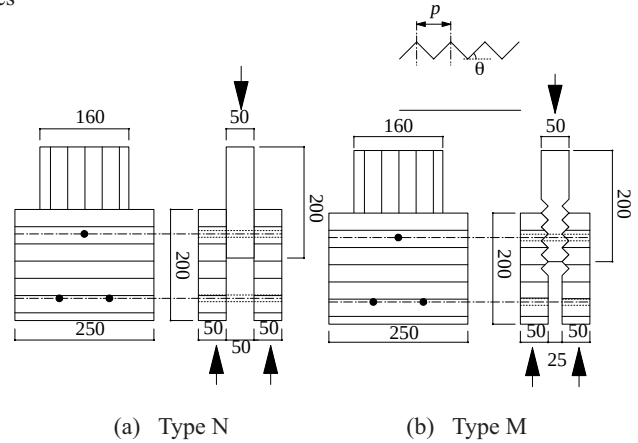


Fig. 5 Test Specimens

Table 4 Experimental Results

Test Specimens	K_{eq} (kN/mm)	P_y (kN)	δ_y (mm)	P_u (kN)	P_m (kN)
N	2.21	11.54	6.05	22.48	25.84
N-W36	2.07	13.51	7.11	29.01	25.19
N-W48	3.03	14.80	5.44	25.09	29.17
M12.5-30	19.29	12.06	0.70	20.96	24.95
M12.5-30-W36	26.33	17.77	0.84	27.59	31.30
M12.5-30-W48	33.57	20.00	0.86	28.89	32.58
M20-30	11.36	18.87	2.37	31.31	35.26
M20-30-W36	22.49	21.93	1.15	34.49	42.38
M20-30-W48	22.86	22.24	1.11	38.89	43.92
M25-30	10.82	19.63	2.03	36.63	40.63
M25-30-W36	19.55	23.36	1.62	40.39	47.20
M25-30-W48	17.08	25.97	1.89	44.92	50.29
M12.5-45	34.65	23.41	0.82	34.87	38.48
M12.5-45-W36	29.59	29.26	1.44	38.61	42.92
M12.5-45-W48	45.92	25.85	0.65	42.04	47.91
M25-45	36.72	26.17	0.97	38.51	43.10
M25-45-W36	33.80	47.17	1.87	52.52	57.25
M25-45-W48	51.90	42.70	1.02	58.06	64.59

3.1 実験計画 試験体の一覧及び試験体形状をTable3及びFig.5に示す。主材及び側材にはラミナ厚32mm、曲げヤング係数11.2～12.2kN/mm²（110.0～124.8t/cm²）のべいまつ集成材を用い、径12mmのボルト1本を接合具として用いた。

Nタイプ試験体は主材と側材をボルトのみで接合したものであり、Mタイプ試験体は接合表面に山形加工を施した主材と側材をボルトで接合したものである。パラメータは、山の角度 θ 、山のピッチ p 、座金径 D である。試験体は原則として各パラメータに対して3本としたが、M12.5-45-W48,2-M25-45-W48については、1体ずつとしている。変位は試験体の主材・側材の両側に取り付けた6つの変位計により測定し、

主材変位の平均値から側材変位の平均値を差し引いたものを主材と側材間の相対変位とした。

3.2 二面せん断接合部の実験結果 各試験体の荷重 - 変形関係を Fig.6 に、また各試験体について完全弾塑性モデルから求めた初期剛性と降伏耐力、最大耐力を表 4 に示す。まず、Fig. 6 の荷重変形関係を見ると、従来形のボルト接合部では支圧による集成材の降伏後、ボルトのめりこみによって緩やかに耐力上昇が見られた。一方、山形加工接合部はボルト接合部に比べると極めて高い初期剛性を示し、最大耐力においてもほとんどの試験体がボルト接合部を上回った。また、山形接合部では、主材と側材の相対変位が山ピッチとほぼ等しくなる近傍で最大耐力が観測され、その後一旦耐力は低下するが再び上昇し、最初に観測された最大耐力を上回った。

Fig. 7 は、M タイプ試験体について、座金径 D および山ピッチ p と初期剛性 K の関係を示したものである。山形加工接合部では、山の側面に生じる支圧によって主材と側材間の応力伝達が行われるが、山側面に沿った滑りによって主材と側材に開きが生じる。したがって、この開きを押さえる座金径の大きなものほど、高い剛性を示した。また、山ピッチについては、ピッチの大きい高い山ほど剛性が低下する傾向が見られた。これは、山ピッチの大きい試験体ほど最大耐力時の変形量が大きく、完全弾塑性モデルを定義するときの初期勾配が見かけ上小さくなるためと考えられる。

4. 山形加工接合部の剛性及び耐力評価

4.1 力学的モデル 山形加工接合部の挙動を評価するため、前章で行った実験に基づいて山の側面的一部分を取り出した Fig.9 のような力学モデルを考える。モデルを解くにあたり、山形加工部の接触面の摩擦、めり込みはないものと仮定する。せん断力 Q 、鉛直方向の変位 δ_y 、水平方向の変位 δ_x 、山形加工の角度 θ とすると、接合部両側のボルトによる締め付け力は $kx/2$ 、鉛直方向の変位と水平方向の変形の適合条件は (1) 式で表される。

$$\delta_x = \delta_y \cdot \tan \theta \quad (1)$$

また、接合部のボルト締め付け力に対する鉛直方向の反力 R_y は

$$R_y = \frac{k \cdot \delta_x}{2} \cdot \cos \theta \cdot \sin \theta \quad (2)$$

で表される。これがせん断力 Q とつり合うので

$$Q = \frac{k \cdot \sin^2 \theta}{2} \cdot \delta_y \quad (3)$$

となる。

4.2 剛性評価 (3)式からせん断剛性 K を求めると

$$K = \frac{k \cdot \sin^2 \theta}{2} \quad (4)$$

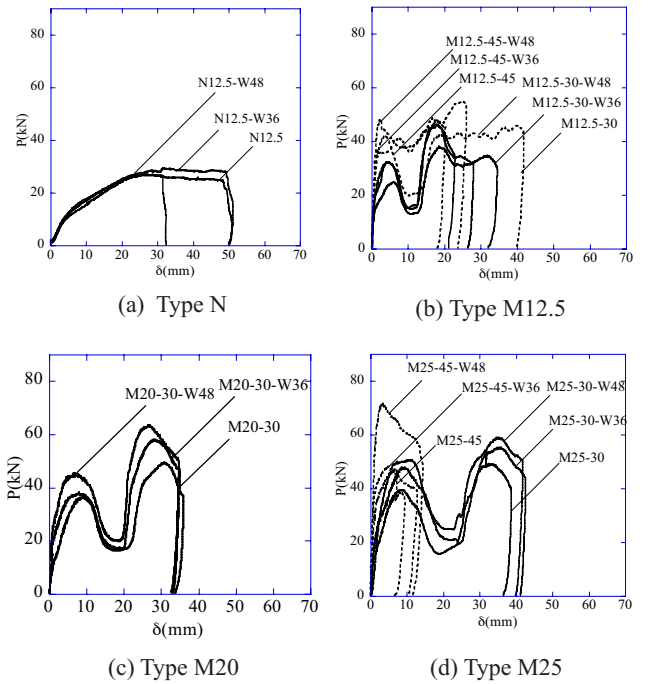


Fig. 6 P-δ Relations

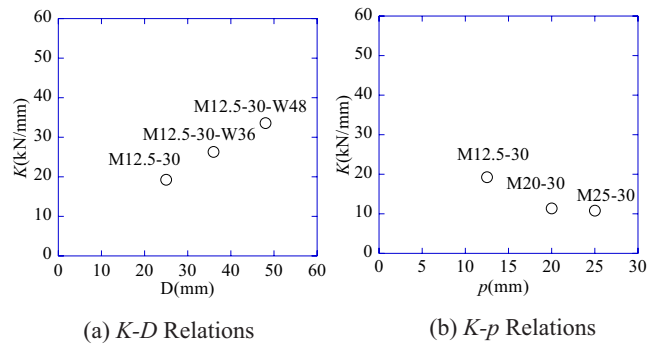


Fig. 7 Stiffness

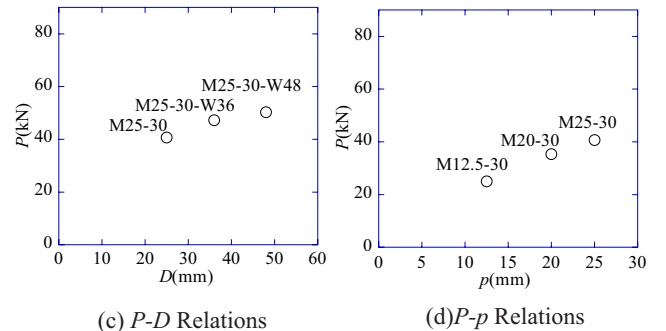


Fig. 8 Resistance

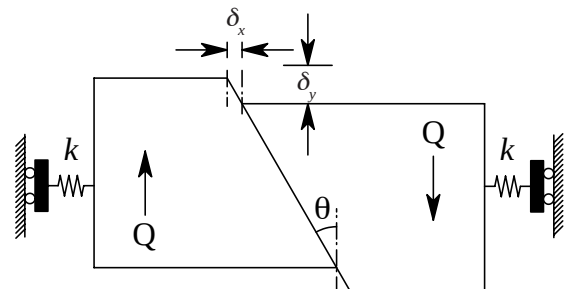


Fig. 9 Mechanical Model

となる。Fig. 9の力学モデルに基づけば、 k はボルトに用いた座金径 D にのみ影響を受ける量であるが、現実には山どうしのめり込み、側材の面外変形等が影響する。そこで D および p と k の関係をみたものがFig. 10, Fig. 11である。 k は D にほぼ比例して増加する傾向があり、また p については逆の傾向が見られた。そこで、これらの影響を考慮するための係数をFig. 10, Fig. 11に示す式で定義し、これを(4)式の k に乗じて評価した。

また、山形面が受ける反力により、試験体の側材はFig. 12に示すような曲げ変形を生じた。そこで、側材に通されたボルトを支点とした梁モデルを考え、この梁の変形 δ に応じて(4)式の k を低減させる係数も導入している。

こうして得られた k を用いて(4)式より計算した K と実験値との対応をみたものがFig. 13である。試験体形状によらず、十分な精度で実験値を評価できていることが分かる。

4.3 耐力評価

山のめり込みを考慮しない場合、接合部の最大耐力は、(4)式で評価された剛性を持つ荷重変形関係が $p/2$ だけ変形した時点の耐力と考えることができる。しかし、山の頂部近くでは集中応力が増大し、めり込みや山の割れによって $p/2$ 以前に最大耐力に達することが考えられる。そこで、耐力評価においては、最大耐力は δ_y が $0.2 \times p/2$ の時に生じるとみなして評価した。この考え方で得られた耐力と実験値の対応を示したものがFig. 14である。耐力の高い試験体でやや計算値が過大評価となっているが、全体的には概ね良い対応を示した。

4.4 モーメント抵抗接合部の剛性評価

4章で得られた剛性評価の考え方に従い、2章で示した柱梁接合部実験の剛性評価を行った。Fig. 15は回転剛性の実験値と算定式との対応である。ややばらつきはあるものの、十分な精度で接合部の回転剛性を評価できている。

5. 結

本研究で得られた結論は以下の通りである。

- 1) 接合表面に山形加工を施した新しい集成材のモーメント抵抗接合部を提案し、その有効性を確認した。提案した接合部は従来のボルト接合部よりも極めて高い初期剛性と耐力を有しており、十分な実用性を持つと言える。
- 2) 山の形状、座金径をパラメータとした接合具の2面せん断実験を行い、山形接合部の剛性と耐力評価を行った。山形接合部の挙動は概ねFig. 9に示すモデルで説明できるが、山のめり込み挙動の影響をより詳細に評価し、解析モデルに反映させていくことが今後の課題である。

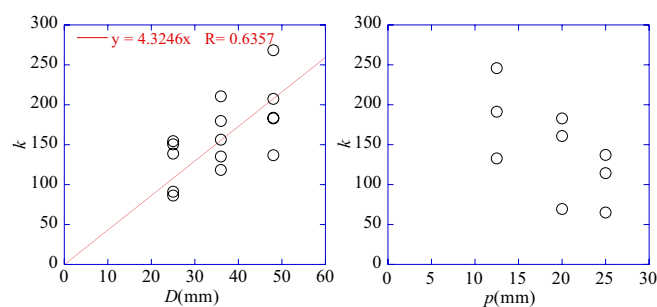


Fig. 10 k - D Relations

Fig. 11 k - p Relations

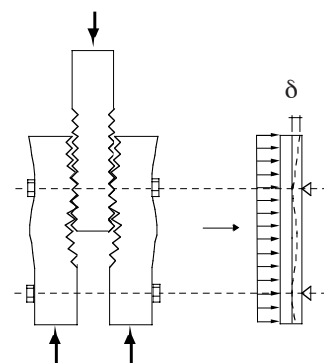


Fig. 12 Beam model

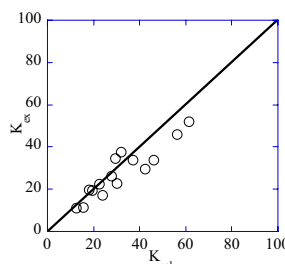


Fig. 13 K_{ex} - K_{cal} Relations

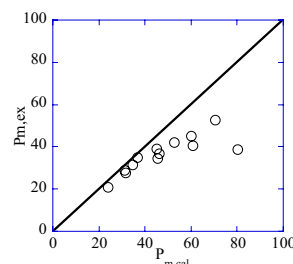


Fig. 14 $P_{m,ex}$ - $P_{m,cal}$ Relations

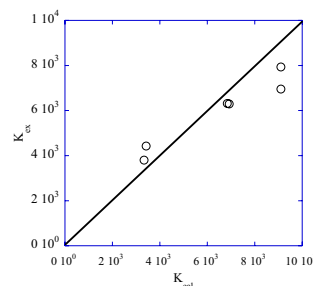


Fig. 15 K_{ex} - K_{cal} Relations

【参考文献】

- 1) 木質構造設計ノート, 日本建築学会, 1995
- 2) 木質構造設計基準・同解説, 日本建築学会, 1995
- 3) 小野徹郎, 安藤 健: ドリフトピンを用いた集成材接合部の剛性および終局耐力に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 2000年10月
- 4) 安藤 健, 小野徹郎: ドリフトピンを用いた集成材接合部の曲げ耐力に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1994年9月
- 5) 柳瀬 博友, 小野徹郎: ドリフトピンを用いた集成材モーメント抵抗接合部の挙動及び耐力式, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1994年9月
- 6) 大断面木造建築物接合部設計マニュアル, 日本住宅・木材技術センター, 2003