

竹パラレルストランドランバーによる接合部の回転剛性について

Characteristics of Rotational Stiffness of the Joint by Bamboo Parallel Strand Lumber

定成 政憲, 吉田 競人, 入倉 則夫 (職業能力開発総合大学校)

Masanori Sadanari, Keito Yoshida and Norio Irikura

Bamboo PSL (bamboo parallel strand lumber) showed the potential to be used as bending and compression members. Therefore, rotational stiffness test was carried out in order to study the practical use of the bamboo PSL joints. The material of bamboo PSL was used an average moisture content of 7.5% of Moso-chiku (*Phyllostachys heterocycla f. pubescens* Muroi). Adhesive for bonding bamboo strands was used aqueous polymer isocyanate-based. Joints of L-shaped specimens were constructed bamboo PSL members of the length 600 mm in cross-section 90 mm. Rotational stiffness tests were repeated three times each from 1/450 to 1/30 rad of deformation angle. Experimental results were maximum moment:4.4 kN·m, deformation angle:0.114 rad and rotational stiffness:65 kN·m/rad. In order to determine the rotational stiffness of the joints of the bamboo PSL, it is necessary to perform properly the cross-sectional design of the members.

Keyword: Joint by Bamboo PSL, Rotational Stiffness, Moso-chiku, Moisture Content, Adhesive

1. はじめに

植物資源である竹は短期間で持続的再生が可能であることから、建築材料としての利用が期待されている。しかし、竹相互の接合の困難さや丸く不整形な形状のために建築物への適応が妨げられている。このために竹平板製造技術の研究^{2),3)}や細長いヒゴ状に加工した竹をナイロン繊維で織り合わせて簾状にした竹エレメントで構成した竹 PSL (パラレルストランドランバー) の製造と強度特性について^{4),5)}検討が行われてきた。これらの研究から竹平板はヒノキと同程度のフローリング材として日本農林規格に適合することや竹 PSL の構造用材への可能性について論じられてきた。その後、構造用の建築材料としての軸部材と曲げ部材へ竹 PSL の利用を想定した研究⁶⁾が行われ、木造建築物の圧縮部材と曲げ部材として利用できる可能性が示された。

この竹 PSL を構造部材として利用するためには接合部の開発が必要になる。そこで、本研究では竹ストランドを接着成型して L 形試験体を作成し、竹 PSL 接合部の回転剛性の特性を検討し、建築部材としての可能性について考察した。

2. 実験

2.1. 竹ストランドの特性

L 形形状の竹 PSL 接合部はモウソウチクの断面が厚さ 5 mm×幅 20 mm の竹ストランドを用いて作成した。こ

の竹ストランドを 370 本用意して、乾球温度 60 °C、関係湿度 33 % で恒温恒湿槽を用いて人工乾燥し、平衡含水率 5 % を目指した。人工乾燥後の竹ストランドの含水率分布を図 1 に示した。同図の統計値は標本数が 370 本、平均値が 7.5 %、標準偏差が 1.15 %、尖度が 2.03、歪度が -0.06 であった。平均含水率から±3×標準偏差の竹ストランドを除外して、含水率が 4~11% のもので竹 PSL 接合部を作成した。

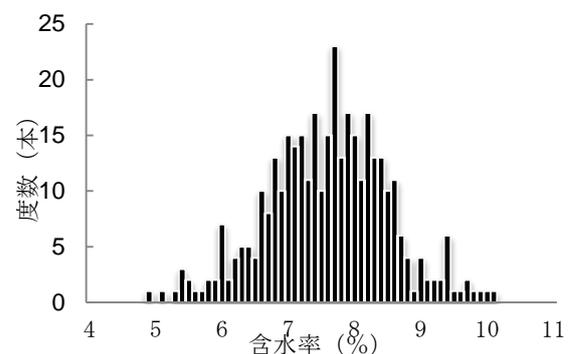


図 1 竹ストランドの含水率分布

2.2. L 形形状の竹 PSL 接合部の治具製作

竹 PSL 接合部試験体の形状は図 2 に示したように断面が 90 mm 角で部材長さがそれぞれ 600 mm の L 形形状とした。この L 形形状の竹 PSL を作成するために、図 3 に示した成型用治具を製作した。同図(b)の断面図の斜線部に竹ストランドと接着剤を交互に積層して、側面をアン

グル（部材 E）で固定し、H 型鋼（部材 A）と溝形鋼（部材 B）で挟み、ボルトで厚さ方向だけを圧縮する形式とした。なお、積層される竹ストランドの圧縮力はゲージを内蔵した S45C φ 12 のボルトを使用して管理した。

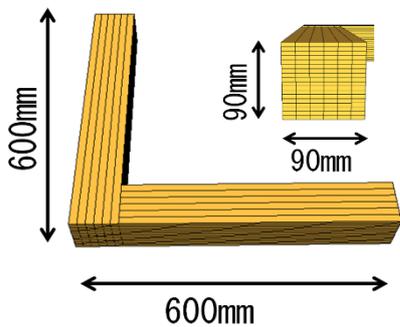
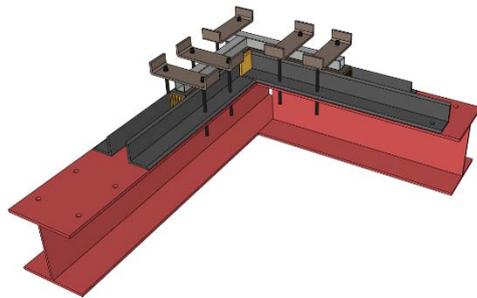


図 2 竹 PSL 接合部試験体の形状

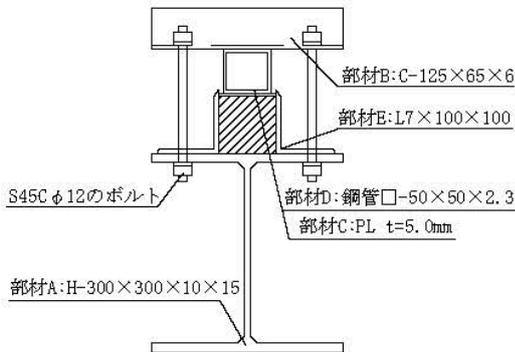
示したように、部材 C の鋼板、部材 D の鋼管、部材 B の溝形鋼の順番に載せていきゲージ内蔵の S45C φ 12 のボルトを用いて圧縮した。竹ストランドを積層したときの圧縮力が 1 N/mm^2 となるように S45C φ 12 のボルトに内蔵されたゲージをデータロガーに接続して確認した。なお、冬季に竹 PSL 接合部試験体を作成したので、ジェットヒーターを使用して極度の温度低下を防いだ。3 体作成した竹 PSL 接合部試験体の一例を図 4 に示した。



(a) 全体形状 (b) 断面
図 4 竹 PSL 接合部試験体



(a) L 形形状成型用治具の全体図



(b) L 形形状成型用治具の断面図

図 3 L 形形状の竹 PSL 接合部作形成用治具

2.3. L 形形状の竹 PSL 接合部の製作方法

図 3 に示した L 形成型用治具の底面にポリエチレンビニールフィルムを敷いた後に、竹 PSL 接合部の箇所は L 形の一辺を他辺の端部に突付けとし、一層目の竹ストランドを敷き詰めて接着剤を塗布した。二層目の竹ストランドは一層目と逆に他辺を突付けとして敷き詰め、接着剤を塗布した。この一連の作業を一定の高さまで繰り返した。なお、使用した接着剤は日本農林規格で集成材用接着剤として認定されている構造用集成材接着剤水性高分子イソシアネート系（鹿印ピーアイボンド TP-111）とした。

一定の高さまで積層した竹ストランドは図 3(b)で既に

2.4. L 形形状の竹 PSL 接合部の強度試験方法

竹 PSL 接合部の強度試験方法を図 5 に示した。同図の竹 PSL 接合部試験体には、接合部以外に変形が生じないように鉄板を四面に取り付けた。鉄板の取付けにはエポキシ樹脂系接着剤（セメダイン株式会社 EP138）を使用し、同図に示した正面側の鉄板はボルト併用として補強した。竹 PSL 接合部試験体は“く”の字型に万能試験機（株式会社エー・アンド・ディ RTF-2430-PL）に取り付けて表 1 に示した接合部の回転角で、それぞれ 3 回繰り返して加力した。同表の接合部の回転角と鉛直方向の設定移動量は、図 6 の上部加力点の拡大図で示したようにたわみ δ (mm) と鉛直方向変位 x (mm) で接合部の回転角を計算して得た結果を示した。接合部の回転角 $1/30 \text{ rad}$ を例

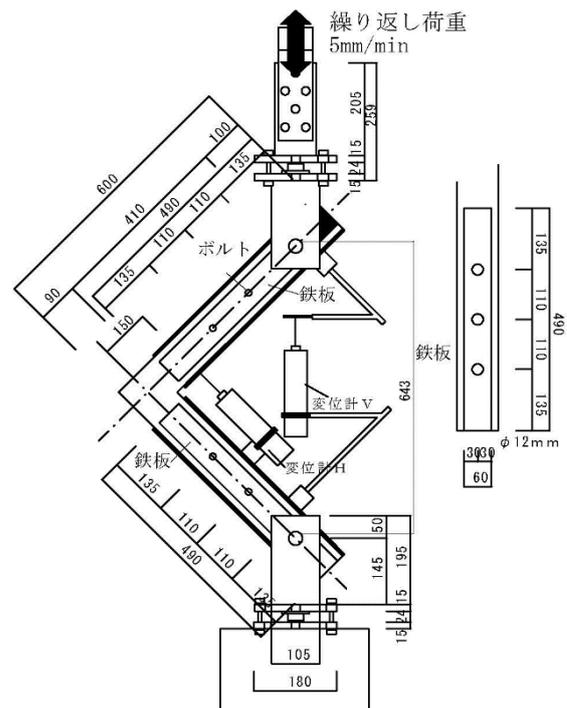


図 5 L 形形状の竹 PSL 接合部の強度試験方法

表 1 竹 PSL 接合部の加力スケジュール

接合部の回転角(rad)	鉛直方向の設定移動量(mm)
1/450	0.71
1/300	1.07
1/200	1.61
1/150	2.14
1/120	2.68
1/100	3.22
1/75	4.29
1/50	6.43
1/30	10.72

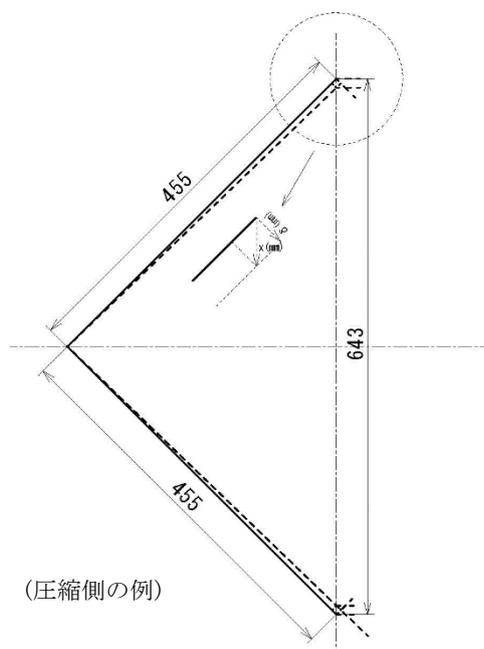


図 6 竹 PSL 接合部の回転角の設定方法

にすると、 $(x/\sqrt{2})/455 = (1/30)(1/2)$ より、鉛直方向の設定移動量 x は 10.72mm となる。なお、実験が表 1 に示した回転角 1/30 rad の繰返し終了までに破壊しなかった場合、圧縮方向に加力を行い最大荷重の 80% まで荷重が低下した時点を実験終了とした。

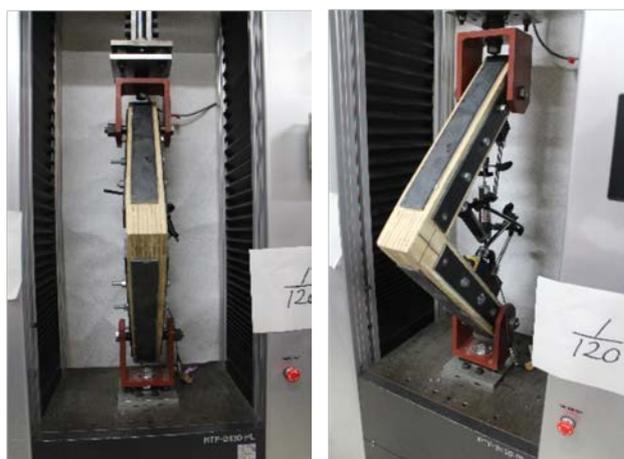
3. 結果と考察

3.1. 竹 PSL 接合部の強度試験

竹 PSL 接合部試験体の繰返し加力実験中の接合部の回転角が 1/120 rad 時に到達したときの変形状況の一例を図 7 に示した。同図より、竹 PSL 接合部に破壊は見られなかった。3 体の全ての竹 PSL 接合部試験体は加力スケジュールの 1/450 から 1/30 rad の繰返し荷重を加力しても破壊しなかったため、圧縮方向に加力して最大荷重の 80% 低下まで強度試験を行った。

竹 PSL 接合部の荷重－鉛直方向の変形量曲線の一例を図 8 に示した。同図の第一象限が引張側、第三象限が圧

縮側である。繰返し試験では鉛直方向の変形量が小さい範囲でスリップが認められるが、接合部の回転角 1/30 rad (鉛直変位で 10.7 mm) で引張側は 8.65 kN、圧縮側は 6.36 kN となった。荷重－鉛直方向の変形量曲線から引張側が圧縮側よりも荷重がやや大きい傾向を示した。なお、スリップは L 形状の竹 PSL 接合部試験体と加力点の接合治具の遊びが影響したものと考えている。この接合治具のガタ成分は竹 PSL 接合部の強度発現時期に影響するので、今後の実験において改良を行って検討したい。



(b)右側面

図 7 1/120 rad 時の竹 PSL 接合部試験体の変形状況

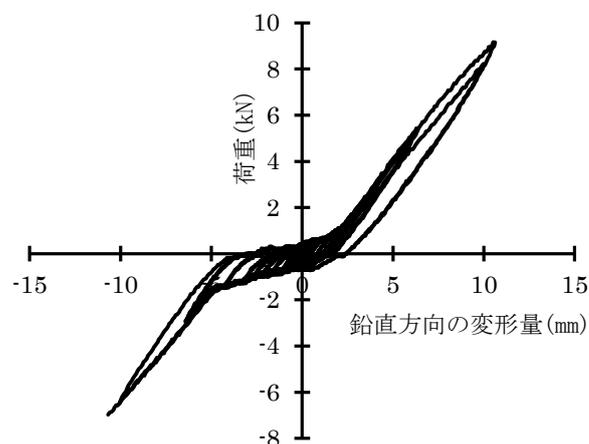


図 8 竹 PSL 接合部の荷重－鉛直方向の変形量曲線

他の 2 体の竹 PSL 接合部試験体も含めた 1/30 rad の回転角時と最大荷重時の荷重と鉛直方向の変形量を表 2 に示した。試験体 No.1 は 1/30 rad 時の荷重が引張側よりも圧縮側が大きい傾向を示したが、他の 2 体の No.2 と No.3 は引張側が圧縮側よりも大きくなった。また、回転角が 1/30rad に達するまでの弾性域については、スリップ箇所

を除けば荷重と鉛直方向の変形量に線形性がみられた。

表 2 竹 PSL 接合部試験体の荷重と鉛直方向の変形量

試験体	引張(+)	1/30rad 時の回転角		最大荷重時の変形	
	圧縮(-)	荷重 (kN)	変形 (mm)	荷重 (kN)	変形 (mm)
No. 1	+	4.39	10.65	/	
	-	6.56	10.70		
No. 2	+	8.61	10.67	/	
	-	6.49	10.84		
No. 3	+	8.65	10.66	/	
	-	6.36	10.69		

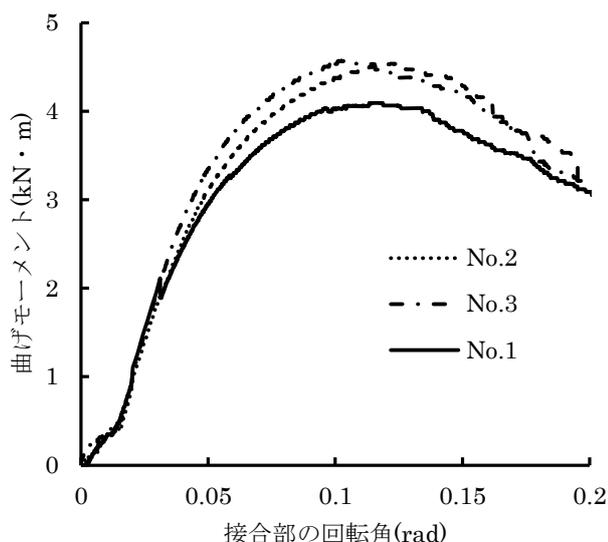


図 9 竹 PSL 接合部の曲げモーメントー回転角曲線

次に、竹 PSL 接合部試験体の強度試験結果を曲げモーメントー接合部の回転角曲線に整理した結果を図 9 に示した。同図の最大曲げモーメントとその時の接合部の回転角は、試験体 No.1 で $4.10\text{kN}\cdot\text{m}-0.114\text{rad}$ 、試験体 No.2 で $4.54\text{kN}\cdot\text{m}-0.124\text{rad}$ 、試験体 No.3 で $4.57\text{kN}\cdot\text{m}-0.103\text{rad}$ となった。回転剛性は図 9 の曲げモーメントー回転角曲線を荷重変形曲線の特徴点抽出ソフトウェア PickPoint3.292+a を用いて計算した。比例限度内で求めた回転剛性は、試験体 No.1 で $61\text{kN}\cdot\text{m}/\text{rad}$ 、試験体 No.2 で $64\text{kN}\cdot\text{m}/\text{rad}$ 、試験体 No.3 で $69\text{kN}\cdot\text{m}/\text{rad}$ となった。

CLT (クロス・ラミネイティド・ティンバー) の L 形試験体 (試験体名称:LA、厚さ 150mm、縦材せい 240mm、横材せい 265mm) の繰り返し加力の実験結果⁷⁾と比較した結果を表 3 に示した。なお、同表の竹 PSL の値は 3 体の平均値、CLT の回転剛性は繰り返し加力の実験結果の図表⁷⁾から読み取ったものである。竹 PSL 接合部は CLT の L 形試験体に比べると最大曲げモーメントが約 1/2 倍、最大曲げモーメント時回転角は約 8 倍、回転剛性は約 1/12 倍の差があることが分かった。竹 PSL 接合部は最大曲げモーメント時回転角が大きくなること及び回転剛性が低いという強度的特性を持つことが分かった。また、竹 PSL 接合部試験体は図 5 で既に示したように、可能な

限り接合部の回転剛性を実験で求めるために他の部分を鉄板で補強した。したがって、実験結果は竹 PSL 接合部単独のものとして利用する必要がある。

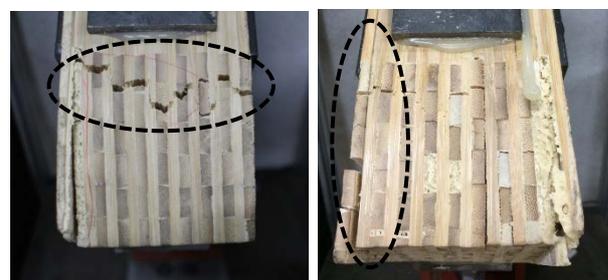
また、回転剛性を改善するために、竹ストランドを上下方向に重ね合わせて加熱圧縮して、竹ストランドをそれぞれ 50 % 収縮させて接合部を構成する重ね継ぎについても今後検討する必要がある。この重ね継ぎは本研究で採用した突付け継ぎと違い、竹ストランドの重ね箇所が連続しているという特徴がある。

表 3 竹 PSL 接合部と CLT の L 形試験体との比較

試験体	最大曲げモーメント (kN·m)	左欄時回転角 (rad)	回転剛性 (kN·m/rad)
竹 PSL	4.4	0.114	65
CLT	9.1	0.014	800

3.2. 竹 PSL 接合部の破壊性状

竹 PSL 接合部試験体の接合部は表 1 に示した接合部の回転角 1/30rad では破壊されず、それ以上の回転角の圧縮側で最終的な破壊となった。接合部の曲げによる引張破断と試験体表層の接着不良による剥離の破壊性状が認められた。それぞれの破壊性状を図 10 に示した。特に接合部の接着不良による破壊性状は竹 PSL の構成要素である竹ストランドと構造用集成材接着剤の適切な組み合わせについて詳細な検討が必要であることが分かった。



(a)曲げによる引張破断 (b)接着不良による剥離

図 10 竹 PSL 接合部試験体の破壊性状

4. まとめ

断面が厚さ 5 mm×幅 20 mm で平均含水率が 7.5 % のモウソウチクの竹ストランドを、水性高分子イソシアネート系構造用接着剤を用いて 90 度角の竹 PSL 接合部試験体を 3 体作成した。これら 3 体の試験体の接合部について繰り返し加力による強度試験を行った。その結果、以下のことが分かった。

CLT の L 形試験体の繰り返し加力の実験結果と比較すると、最大曲げモーメントが約 1/2 倍となり、その時の接合部の回転角は約 8 倍となった。また、竹 PSL 接合部の回転剛性は約 1/12 倍となり、接合部の回転剛性が低いことが分かった。この竹 PSL 接合部の回転剛性を改善するためには、本研究で採用した竹ストランドの突付け継

ぎに代わる重ね継ぎによる構成方法の再検討及び竹ストランドと構造用集成材接着剤の組合せについて更に検討していく必要があることが分かった。

第4章」,pp.49-81(2013).

(原稿受付 2016/2/4, 受理 2016/5/30)

参考文献

- [1] 竹内叔雄:「こと典百科叢書 4」,大空社, pp.202-225(2010).
- [2] 米倉優, 山之内清竜, 遠矢良太郎:「鹿児島県工業技術センター研究報告 No.4」, pp.103-116(1990).
- [3] 米倉優, 山之内清竜, 遠矢良太郎:「鹿児島県工業技術センター研究報告 No.7」, pp.49-52(1993).
- [4] チュン・タン・ツォイ, 大林宏也, 桃井尊央, 栃木紀郎, 小林純:「木材工業」,67,pp.290-295(2012).
- [5] チュン・タン・ツォイ, 大林宏也, 桃井尊央, 栃木紀郎, 小林純:「木材工業」,68,pp.241-246(2013).
- [6] 定成政憲, 吉田競人, 舩木裕之:「木材工業」,70,pp.62-66(2015).
- [7] 株式会社日本システム設計:「平成 25 年度基準整備促進事業報告書 CLT を用いた木構造の設計法に関する検討

*定成政憲, 農学博士

職業能力開発総合大学校, 〒187-0035 東京都小平市小川西町 2-32-1 email:sadanari@uitech.ac.jp

Masanori Sadanari, Polytechnic University of Japan, 2-32-1 Ogawa-Nishi-Machi, Kodaira, Tokyo 187-0035

*吉田競人, 博士 (工学)

職業能力開発総合大学校, 〒187-0035 東京都小平市小川西町 2-32-1 email:k-yoshida@uitech.ac.jp

Keito Yoshida, Polytechnic University of Japan, 2-32-1 Ogawa-Nishi-Machi, Kodaira, Tokyo 187-0035

*入倉則夫, 博士 (工学)

職業能力開発総合大学校, 〒187-0035 東京都小平市小川西町 2-32-1 email:irikura@uitech.ac.jp

Norio Irikura, Polytechnic University of Japan, 2-32-1 Ogawa-Nishi-Machi, Kodaira, Tokyo 187-0035