CLT のラミナ幅方向の繋ぎ目の幅はぎ接着及び透き間が LSB の引抜き性能に及ぼす影響 繊維平行方向 その1

INFLUENCE OF EDGE BONDING AND GAPS BETWEEN LAMINAE OF CLT ON PULL-OUT PROPERTIES OF LSB Parallel to the grain direction (Part 1)

中谷 誠 ——— *1 森 拓郎 ——— *2

Makoto NAKATANI ——— *1 Takuro MORI ——— *2

キーワード：
LSB, CLT, 幅はぎ接着, ラミナ横方向の透き間

Keywords:
LSB, CLT, Edge bonding, Gap between laminae without edge bonding

An influence of edge bonding between laminae, edge gaps between laminae without edge bonding, and edge distance from LSB to edge of a lamina, on pull-out properties of LSB joint embedded into CLT parallel to the grain direction was investigated and confirmed following characteristics.

1. Edge bonding was no effect on pull-out properties.
2. Pull-out properties of LSB embedded into a gap decreased with increasing width of the gap.
3. The edge distance was no effect on pull-out properties, if it is more than 0.7 times of a top thread diameter of LSB or the gaps is below 0.5 mm.

1. はじめに

近年、欧米において CLT (Cross Laminated timber) を用いた中・大規模木造建築物が盛んに建築されるなど¹⁾、CLT が新たな建築材料としての地位を確立しつつある。日本においても CLT が日本農林規格 (以下 JAS) の直交集成板²⁾として制定され、建築基準法において設計法に関する告示が公布、施行されるなど、製造及び普及のために急ピッチで研究³⁾及び法整備が進められている。

本研究では、国産スギ CLT に適した接合部及び構法の提案を目的とし、大型のネジ系接合具であるラグスクリューボルト⁴⁾ (以下、LSB) を用いた接合部の開発を行っており、既往の研究では LSB の引抜き性能を明らかにしている⁵⁻⁷⁾。CLT パネル工法への LSB の利用として、壁として用いた CLT の上下面から鉛直方向に LSB を埋め込み、それらを接合金物を介して基礎及び上下層の CLT と緊結することを想定している。この時、LSB が隣り合うラミナの横方向の繋ぎ目に埋め込まれる場合、繋ぎ目の接着 (以下、幅はぎ接着) 及び透き間の有無による LSB の引抜き耐力への影響が懸念される。JAS において「ラミナの横方向の接合の透き間」として、原則的にはないこととされているが、局所的なものであれば 6mm 以下、明らかに接合部となる部分においても 3mm 以下であれば良いとされている。そこで、本研究ではラミナの繊維方向に対して平行方向に埋め込まれる LSB について、幅はぎ接着の有無、そしてラミナ横方向の繋ぎ目の透き間が LSB の引抜き性能に及ぼす影響を考察した。

2. 試験

2.1 試験体

CLT 試験体はラミナを宮崎県産スギ、強度性能を Mx60、ラミナ構成を5層5プライ、接着剤を水性高分子イソシアネート系接着剤、そして寸法を幅 100mm、厚さ 150mm、長さ 580mm とした。平均密

度は 0.41g/cm³であった。幅はぎ接着有りの CLT 試験体は JAS の認定工場において製造し、幅はぎ接着無しの試験体は宮崎県内の製材及び集成材を製造する工場において、CLT 専用の製造機械ではなく、既存のプレス機を用いてラミナの幅はぎ接着は行わず、また側圧をかけないで製造した。このため、幅はぎ接着無しの試験体にはラミナ横方向の繋ぎ目に最大で 3mm 程度の透き間が生じた。この透き間の幅は、透き間ゲージを用いて測定した。

LSB はネジ山径が 25mm、ネジ谷径が 20mm、ネジ山ピッチが 10mm、ネジ有効長さが 140mm (全長 200mm)、ネジ山の角度が 60 度、そして片端部における LSB 内部の雌ネジの直径が 12mm であった (図 1 参照)。LSB を埋め込むための先穴は直径 22mm、深さ 210mm とし、LSB の埋め込み口には実際の使用時と同様に直径 35mm、深さ 30mm の座堀を施した。また、CLT 試験体には、LSB 先穴加工側とは逆側に引抜き試験の反力用のボルト穴を 3 つ加工した (図 2 参照)。

図 1 LSB の概要写真

図 2 CLT 試験体の概要図

¹⁾ 宮崎県木材利用技術センター 主任研究員・博士 (農学)
(〒885-0037 宮崎県都市花緑町 21-2)
²⁾ 京都大学生存圏研究所 助教・博士 (工学)

¹⁾ Senior Researcher, Miyazaki Prefectural Wood Utilization Research Center, Dr. Agr.
²⁾ Assistant Prof., RISH, Kyoto Univ., Dr. Eng.

2.2 試験条件

試験条件は、図3(a)に示すラミナ横方向の繋ぎ目においてLSBが埋め込まれたラミナの端部からLSBの埋め込み中心位置までの距離(l)を、LSBのネジ山径(d)を基準として5条件($0d$ 、 $0.3d$ 、 $0.5d$ 、 $0.7d$ 、 $1.0d$)を設定した。距離 $0d$ はLSBの埋め込み位置の中心がラミナ横方向の繋ぎ目であり、距離 $0.5d$ はLSBのネジ山を結ぶ外周がLSBを埋め込んだラミナの端部に接することになる。幅はぎ接着有りとは幅はぎ接着無しCLTによる試験は、距離 $0d$ の試験について行った。その他の試験条件は全て幅はぎ接着無しCLT試験体とした。図3(b)から(f)に各試験条件のLSB埋め込み面の概要図を示す。

試験体数は、幅はぎ接着有りの距離 $0d$ 試験体が6体、幅はぎ接着無しの距離 $0d$ 試験体と距離 $0.5d$ 試験体が各15体、距離 $0.3d$ 試験体と距離 $0.7d$ 試験体そして距離 $1.0d$ 試験体が各6体とした。各試験条件のラミナ横方向の繋ぎ目の透き間の幅(h)を図4に示す。

図3 LSBの埋め込み位置の概要と各試験条件の概要図

注) d : LSBのネジ山径 25mm

図4 各試験条件のラミナ横方向の透き間

図5 試験方法の概要

2.3 試験方法

試験は、CLT試験体に埋め込んだLSBを下方にしてハイテンションボルトと専用治具を介して試験機に緊結し、反力側を3本のボルト留めとして上方に加力することでLSBに引張力を負荷した。図5に試験方法の概要を示す。LSBの引抜き量は、CLT試験体の両側面に取り付けた2本の変位計(東京測器研究所 CDP50、容量 50mm)と、LSBと緊結したハイテンションボルトに取り付けた変位計受けにより、CLTとLSBの相対変位量を測定し、その平均値とした。試験は万能試験機(島津製作所 オートグラフ、容量 100kN)を用い、加力スピードは 1mm/min.の一方方向単調加力とした。

3. 試験結果

3.1 破壊性状

本試験の破壊性状を図6に示す。また各試験条件の破壊性状の発生試験体数を表1に示す。

図6(a)のLSBの引抜け破壊はほぼ全ての試験体で生じた。この破壊はLSBのネジ山に沿った木部の縦せん断破壊であり、引抜けたLSBのネジ山の間にはせん断破壊して残留した木部が見られた。

図6(b)のラミナの引抜け破壊は、距離 $0.5d$ 試験体でのみ15体のうち4体で見られた。LSBと共に引抜けたラミナはLSBのネジ山に取り付き引抜かれていた。この破壊は、ラミナ横方向の透き間が大きい試験体で生じやすい傾向が見られた。

図6(c)の割裂破壊は、LSBの埋め込み位置からCLTが割裂して破壊に至った。本試験ではラミナ横方向の繋ぎ目からの距離と割裂破壊の発生数に傾向は認められず、表1に示す合計3体で見られた。

図6(d)の複合破壊は距離 $0.7d$ 試験体1体で見られた。この試験体では、引抜けたラミナに大きな節が確認できたことから、節による繊維の目切れが起点となり、ラミナの引抜け破壊と同時にCLTの割裂破壊が生じたと考えられる。

(a) LSBの引抜け破壊

(b) ラミナの引抜け破壊

(c) CLTの割裂破壊

(d) ラミナの引抜けとCLTの割裂による複合破壊

図6 破壊性状

3.2 引張性能

距離 $0d$ 試験体について、幅はぎ接着の有りと無し及びラミナ横方向の繋ぎ目の透き間と最大引抜き荷重の関係を図 7、すべり係数との関係を図 8 に示す。ここで、すべり係数は加力初期における最大荷重の 10%~40%までの荷重と引抜き量の関係より算出した初期剛性の値である。実験結果より、幅はぎ接着の有無による最大引抜き荷重及びすべり係数への影響は見られなかった。表 1 に各試験条件の特性値を示す。ここで、短期許容耐力の算出は「木造軸組工法住宅の許容応力度設計」⁸⁾に準じて、信頼水準 75%における 95%下側許容限界値とし、最大引抜き荷重の 2/3 倍と完全弾塑性モデルによる降伏耐力の平均値にばらつきを乗じて算出した値のうち小さい方とした。ラミナ横方向の繋ぎ目の透き間は大きくなるほど、最大引抜き荷重とすべり係数ともに若干ではあるが低下する傾向が見られた。これは、ラミナ横方向の繋ぎ目に透き間がある場合、LSB の引抜きに抵抗する LSB のネジ山と CLT の木部の間のせん断面積が減少するためと考えられる。このため、ラミナの透き間による LSB の引抜き性能の低減率 α は以下の式で表すことができる。

$$\alpha = 1 - \frac{(\theta_a - \theta_b)}{\pi} \quad \left(0 \leq \theta_a \leq \frac{\pi}{2}, 0 \leq \theta_b \leq \frac{\pi}{2} \right) \quad (1)$$

$$\cos \theta_a = \frac{2l}{d}, \cos \theta_b = \frac{2(l+h)}{d} \quad \left(0 \leq l+h \leq \frac{d}{2} \right) \quad (2)$$

ここで、 l : ラミナ横方向の繋ぎ目から LSB の埋め込み位置までの距離、 h : 透き間の幅、 d : LSB のネジ山径。

本研究では、基準となる透き間無しの引抜き性能は、幅はぎ接着有り試験体と幅はぎ接着無しの透き間の無い試験体の結果の平均値とした。この値に低減率 α を乗じて算出した距離 $0d$ 試験体と $0.3d$ 試験体の推定値の結果を図 7 と図 8 に実線で示す。図 7 と図 8 より推定値は最大引抜き荷重及びすべり係数の傾向を推定できていると考える。また、この推定式より、本試験に用いた直径 25mm の LSB を JAS で規定されている最大の透き間 3mm に距離 $0d$ で埋め込む場合には、透き間の無い CLT と比較して、引抜き性能が 7.7%程度低下すると推定される。そして、この低減率は LSB のネジ山径が細くなるほど、またラミナ横方向の繋ぎ目から LSB の埋め込み位置までの距離が LSB の半径の範囲内において離れるほど大きくなると考えられる。

図 9 にラミナ横方向の繋ぎ目から LSB の埋め込み位置までの距離と LSB の最大引抜き荷重と短期許容引抜き耐力の関係を示す。ラミナ横方向の繋ぎ目からの距離が $0.3d$ 試験体の短期許容耐力が低い値となったのは、試験体 6 体のうちラミナ横方向の透き間の大きい 1 体の降伏耐力が特に低く、試験結果のばらつきが大きくなった

ためである。距離 $0.5d$ の試験体は平均値が低く、またばらつきが大きいため短期許容耐力も低い値となった。この短期許容耐力は、埋め込み位置の影響を受けないと考えられる距離 $0.7d$ と距離 $1.0d$ の平均値と比べて 16%低い結果となった。これは、図 10 に示す距離 $0.5d$ 試験体における最大引抜き荷重とラミナ横方向の透き間の関係より、透き間が 1mm 以上の試験体では最大荷重が低くなる傾向が見られたためである。ただし、透き間が 0.5mm 以下の試験体の結果では、最大荷重の平均値が 38.1kN、短期許容耐力が 15.2kN と、距離 $0.7d$ と距離 $1.0d$ の試験結果と同等の値であった。また、図 11 にラミナ横方向の繋ぎ目から LSB の埋め込み位置までの距離とすべり係数の関係を示す。すべり係数には LSB の埋め込み位置の距離の影響は認められなかった。

図 7 最大引抜き荷重と幅はぎ接着及び透き間の影響

図 8 すべり係数と幅はぎ接着及び透き間の影響

表 1 試験結果と破壊性状

試験条件	幅はぎ接着	短期許容耐力	最大荷重		降伏耐力		すべり係数		破壊性状(試験体数)			
			kN	変動係数(%)	kN	変動係数(%)	kN/mm	変動係数(%)	(a)	(b)	(c)	(d)
$0d$	○	21.6	41.9	3	24.9	6	86.3	20	5	0	1	0
$0d$	×	19.0	43.9	10	24.6	11	92.0	13	15	0	0	0
$0.3d$	×	13.7	39.8	14	24.2	19	77.0	14	5	0	1	0
$0.5d$	×	13.9	36.5	20	20.1	15	74.5	18	11	4	0	0
$0.7d$	×	16.9	39.6	6	21.4	9	86.3	12	5	0	0	1
$1.0d$	×	14.6	37.9	10	21.0	13	86.3	18	5	0	1	0

注) 最大荷重、降伏耐力とすべり係数は平均値、破壊性状は図 5 (a) ~ (d) を参照

図9 ラミナ横方向繋ぎ目からの距離と引抜き荷重の関係

注) ○：ラミナの引抜け破壊の最大荷重、×：ラミナの引抜け破壊以外の最大荷重、●：最大荷重の平均値、▲：短期許容耐力

図10 最大引抜き荷重とラミナ横方向の透き間(0.5d試験体)

図11 ラミナ横方向繋ぎ目からの距離とすべり係数

注) ○：ラミナの引抜け破壊の結果、×：ラミナの引抜け破壊以外の結果、●：平均値

4. まとめ

本試験では、CLT のラミナの繊維方向に対して平行方向に用いる LSB について、ラミナ横方向の繋ぎ目の幅はぎ接着とその透き間、そして繋ぎ目から LSB の埋め込み位置までの距離が LSB の引抜き性能

に及ぼす影響を考察して以下の結果を得た。

- ① ラミナ横方向の繋ぎ目の中心に LSB を埋め込む場合、幅はぎ接着の有無が最大引抜き荷重、降伏耐力そしてすべり係数に及ぼす影響は認められなかった。
- ② ラミナ横方向の繋ぎ目の透き間に LSB を埋め込む場合には、透き間の大きさにより LSB の引抜き性能が低下した。この引抜き性能の低下率は、透き間により LSB の引抜き力に抵抗する CLT のせん断面積が減少すると仮定することで推定できることがわかった。
- ③ ラミナ横方向の繋ぎ目から LSB の埋め込み位置の距離が 0.7d 以上離れることで、引抜き性能への影響が見られなかった。LSB のネジ山がラミナ横方向の繋ぎ目と接する距離 0.5d では、ラミナ横方向の繋ぎ目の透き間が 1mm 以上の大きい試験体は、引抜き耐力の低下が見られた。ただし、透き間が 0.5mm 以下の試験体では距離 0.7d 以上の試験結果と同等の値となった。

以上の結果より、現在流通しているラミナ横方向の繋ぎ目に透き間がほとんど無い CLT を用い、CLT の繊維平行方向に LSB を埋め込み使用する場合には、既往の研究で示されている CLT の縁端部からの距離⁶⁾を確保することで、ラミナ幅方向の繋ぎ目の位置を考慮する必要は無く、任意の位置に埋め込んでも同等の引抜き性能が発揮されると考えられる。

【謝辞】本研究は平成 26 年度森林整備加速化・林業再生事業「宮崎県産スギを用いた新たな CLT の開発」、そして京都大学生存圏研究所木質材料実験棟全国共同利用研究課題として実施した。

参考文献

- 1) 中島洋：オーストリア CLT 建物紹介，Journal of Timber Engineering，vol.28，No.6，pp.205-209，2015.12
- 2) 直交集成板の日本農林規格：平成 25 年 12 月 20 日日本農林水産省告示 3078 号，2013
- 3) 河合直人，他：クロス・ラミネイティド・ティンバーによる構造の設計法に関する研究 その 1 研究の目的と概要，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造Ⅲ，pp.179-180，2014.9
- 4) K. Komatsu, Y. Hara, Y. Nanami, and T. Ikki : Development of Lagscrewbolt as a connector for glulam moment-resisting joints, Proceedings of Pacific Timber Engineering Conference, vol.2, pp.349-354, Rotorua, New Zealand, 1999.3
- 5) 中谷誠，森拓郎，鈴木圭：CLT からのラグスクリューボルトの引き抜き性能縁端距離，埋め込み深さと繊維方向の影響，構造工学論文集，vol.61B，pp.223-228，2015.3
- 6) 黒澤裕，中谷誠，森拓郎，秋山信彦，渡部博，田守伸一郎，五十田博：CLT に埋め込まれた LSB の引き抜き性能に関する実験的研究 その 1 1 本引き抜き試験，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造Ⅲ，pp.113-114，2015.9
- 7) 中谷誠，黒澤裕，森拓郎，秋山信彦，渡部博，五十田博：CLT に埋め込まれた LSB の引き抜き性能に関する実験的研究 その 2 2 本引き抜き試験，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造Ⅲ，pp.115-116，2015.9
- 8) (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 年版，pp.563-592，2009.6

[2016 年 10 月 5 日原稿受理 2017 年 1 月 6 日採用決定]