

木材のせん断強さの測り方

技術部 生産技術グループ 高梨 隆也

■はじめに

物体が受ける力には曲げや圧縮、引張などのほかに、せん断（図1）というものがあります。日本木材学会の木材学用語集¹⁾ではせん断は「物体の近接した平行な2断面の逆方向に作用する内力-せん断応力-によりずれやすべりを生じる現象」と記載されており、紙をハサミで切ることをイメージすればわかりやすいかもしれません。なお、せん断応力とは、せん断力をそれを受ける断面の面積で割った値であり、せん断強さ（強度）は物体がせん断で破壊する時のせん断応力です。

木材にせん断応力が生じる場面は多くあり、そのせん断強さを把握しておくことは重要です。例えば、曲げ部材では断面内にせん断応力が生じています（図2(a)）。面外方向に曲げ荷重を受ける直交集成板（Cross laminated timber, CLT）の直交層ラミナにせん断応力が生じた時、繊維が転がるように作用します（転がりせん断、ローリングシアー）（図2(b)）。木材の繊維直交方向のせん断強さは他の方向のせん断強さと比較して小さいため、こうした材料のせん断強さを測定することは重要です。

せん断強さの測定方法については、材種や試験装置に応じて様々な方法があります。本稿ではその中から、いす型せん断試験および曲げ型せん断試験について説明します。

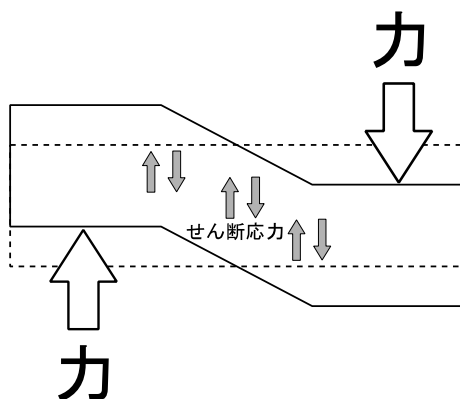


図1 せん断のイメージ

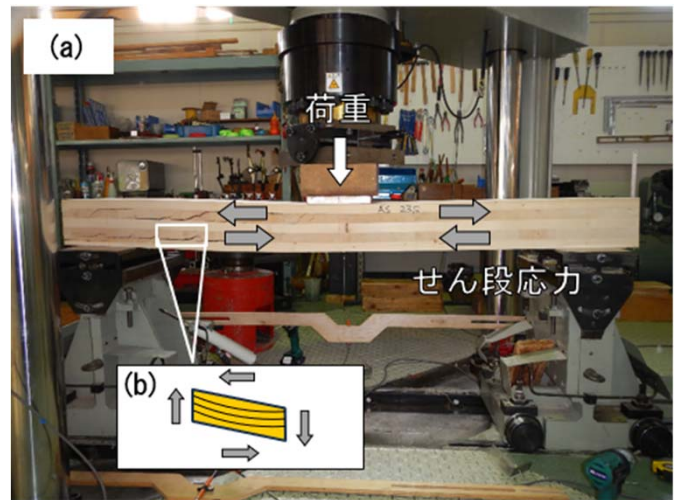


図2 曲げ部材に発生するせん断応力(a)とCLTの直交層ラミナに生じる転がりせん断(b)

■いす型せん断試験

いす型せん断試験とは、その名のとおりのいす型に加工した試験体（図3）を用いてせん断強さを求める試験方法です。JIS Z2101²⁾では無欠点小試験体の試験方法として規定されています。得られた最大荷重をせん断面積で除することでせん断強さが算出されます。試験体のいす型形状への加工と専用の治具（図4）は必要となりますが、試験実施が容易であることと、試験体を部材から採取する時の歩留まりが良い方法です。

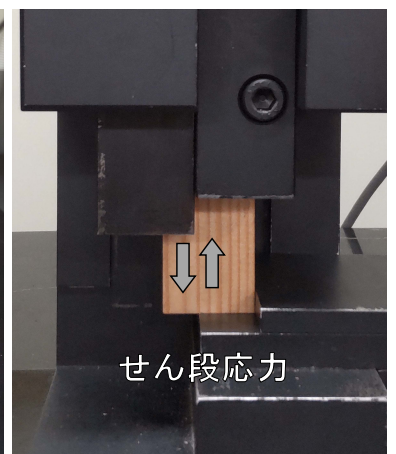
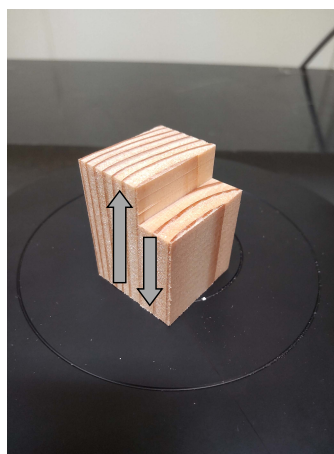


図3 いす型せん断試験体 図4 いす型せん断試験治具

また、集成材および直交集成板の日本農林規格^{3,4)}では接着層の強度試験として同様の方法が規定され

ています。ただし試験体形状がJIS Z2101²⁾の規定とは異なり、上下ともに切り欠きを設ける必要があります(図5(a))。この時、せん断強さの算出(集成材のみ)と共に、木部で破断した面積が破断面に占める割合(木部破断率)を算出します(図5(b))。接着が適切に行われていれば、接着層のせん断強度は木材部分のせん断強度よりも大きくなり、木材部分で優先して破壊が生じるため、木部破断率は100%に近づきます。規定以上のせん断強さと木部破断率であれば、十分な接着性能を有していることが確認されます。

ただし、いす型せん断試験は切り欠き部の近辺へ応力の集中が生じるため、せん断面に生じる力は純粋なせん断応力だけではありません。そのため、得られるせん断強さの評価には注意が必要とされています。

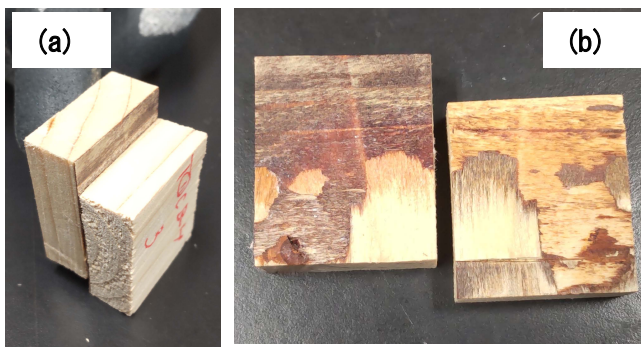


図5 集成材および直交集成板のいす型せん断試験体の形状(a)と木部破断率の観察の様子(b)
(写真は直交集成板)

■曲げ型せん断試験

曲げ型せん断試験は部材に曲げ荷重を与えた時に部材の断面内に生じるせん断応力を評価することでせん断強さを測定する方法です。この方法では通常、部材が一様な断面であれば材の中立軸(材せい方向の中心)に最大せん断応力が生じます。部材をせん断で破壊することができれば、破壊時の最大せん断応力を部材のせん断強さとして評価することができます。構造用木材の強度試験マニュアル⁵⁾においては荷重方法別に3種類の試験方法が規定されています。

一つ目は中央集中荷重方式(A法)(図6, 7)です。材の中立軸に発生する最大せん断応力 f_s は次の式で表されます。

$$f_s = \frac{3F}{4bd}$$

(f_s : 最大せん断応力, F : 荷重, b : 部材の幅, d : 部材のせい)

また、このときの最大曲げ応力 f_b は次の式で表されます。

$$f_b = \frac{3aF}{bd^2}$$

(f_b : 最大曲げ応力, a : 支点から荷重点までの距離, F : 荷重, b : 部材の幅, d : 部材のせい)
このとき、 f_s と f_b の比は次のとおりとなり、

$$f_s : f_b = 1 : \frac{4a}{d}$$

たとえば $a = 2.5d$ であれば $f_s : f_b = 1 : 10$ となり、部材のせん断強さが曲げ強さの1/10以下であればせん断で破壊することになります。

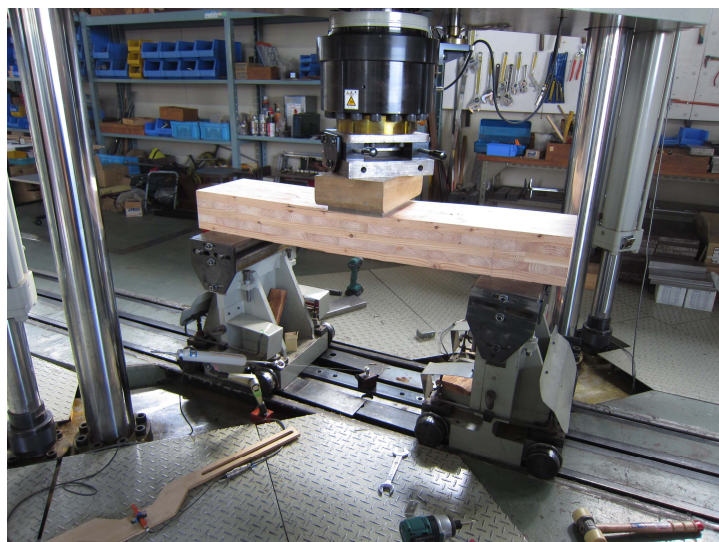


図6 中央集中荷重方式の様子

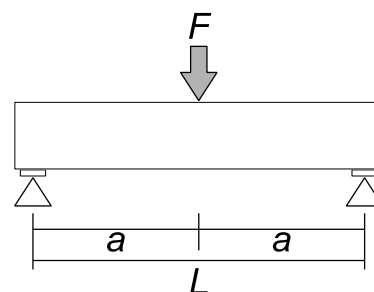


図7 中央荷重方式の荷重模式図⁵⁾

二つ目の方法は4等分点5点荷重方式です(B法)(図8)。この時の材の中立軸に発生する最大せん断応力 f_s は次の式で表されます。

$$f_s = \frac{33F}{64bd}$$

(f_s : 最大せん断応力, F : 荷重, b : 部材の幅, d : 部材のせい)

また、このときの最大曲げ応力 f_b は次の式で表されます。

$$f_b = \frac{9aF}{8bd^2}$$

(f_b : 最大曲げ応力, a : 支点から荷重点までの距離, F : 荷重, b : 部材の幅, d : 部材のせい)

このとき、 f_s と f_b の比は次のとおりとなり、

$$f_s : f_b = 11 : \frac{24a}{d}$$

たとえば $a = 2.5d$ であれば $f_s : f_b = 11 : 60$ となり、部材のせん断強さが曲げ強さの1/5.4以下であればせん断で破壊することになります。

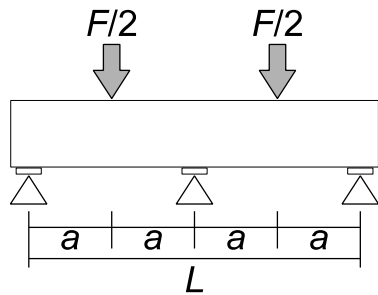


図8 4等分点5点荷重方式の荷重模式図 ⁵⁾

三つ目の方法は逆対称4点荷重方式（C法）です（図9、10）。この時の材の中立軸に発生する最大せん断応力 f_s は次の式で表されます。

$$f_s = \frac{3aF}{2(a+S)bd}$$

(f_s : 最大せん断応力, a : 支点から荷重点までの距離, S : 材長中央部分の荷重点と支点の間の距離, F : 荷重, b : 部材の幅, d : 部材のせい)

また、このときの最大曲げ応力 f_b は次の式で表されます。

$$f_b = \frac{3aSF}{(a+S)bd^2}$$

(f_b : 最大曲げ応力, a : 支点から荷重点までの距離, F : 荷重, b : 部材の幅, d : 部材のせい)

このとき、 f_s と f_b の比は次のとおりとなり、

$$f_s : f_b = 1 : \frac{2S}{d}$$

たとえば $S = a = 2.5d$ であれば $f_s : f_b = 1 : 5$ となり、部材のせん断強さが曲げ強さの1/5以下であればせん断で破壊することになります。

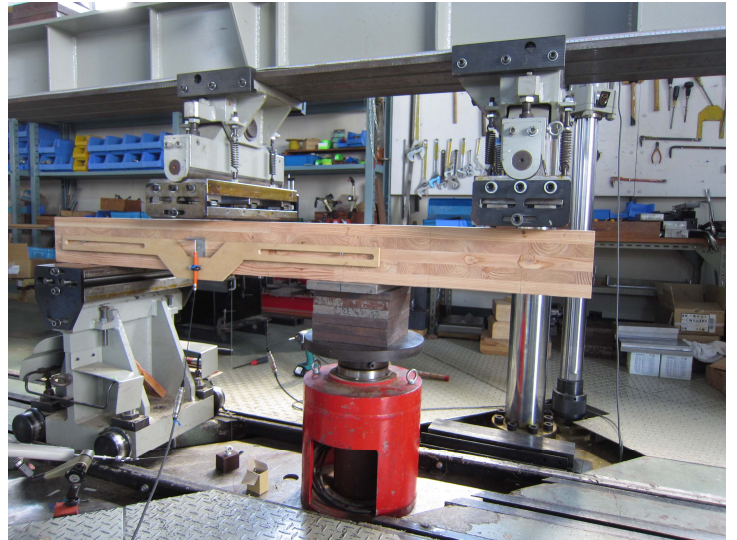


図9 逆対称4点荷重方式の様子

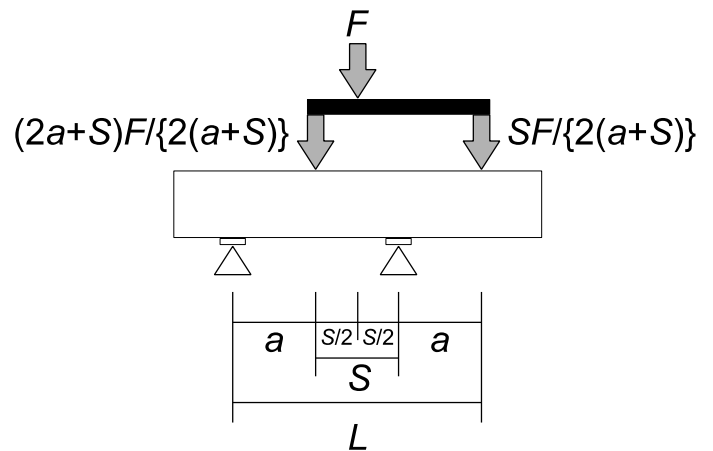


図10 逆対称4点荷重方式の荷重模式図 ⁵⁾

以上3法の最大せん断応力および $S = a = 2.5d$ の時にせん断破壊が曲げ破壊に先行する条件をまとめると表1の通りとなり、逆対称4点荷重方式（C法）が最もせん断破壊を起こしやすい試験方法となることがわかります。ただし、実際の試験では試験体寸法や試験機の荷重容量、実施の容易さなどを考慮する必要があるため、適切な方法をその都度選択することになります。

表1 各試験方法の最大せん断応力とせん断破壊条件

試験方法	最大せん断 応力	せん断破壊が曲げ破 壊に先行する条件(※)
中央集中 荷重方式 (A法)	$3F / 4bd$	$\sigma_s / \sigma_b < 1 / 10$
4等分点5点 荷重方式 (B法)	$33F / 64bd$	$\sigma_s / \sigma_b < 1 / 5.4$
逆対称4点 荷重方式 (C法)	$3aSF / 2(a+S)bd$	$\sigma_s / \sigma_b < 1 / 5$

F : 荷重, b : 部材の幅, d : 部材のせい, a : B・C法での
支点から荷重点までの距離, S : C法での材長中央部分の荷
重点と支点の間の距離, σ_s : せん断強さ, σ_b : 曲げ強さ
(※) $S = a = 2.5d$ の場合

■おわりに

本稿では木材のせん断強さの測定方法の一部をご
紹介しました。林産試験場ではこれらの方法を用い
て、北海道産ツーバイフォー材やCLTの強度規格値
制定および、建築基準法37条に基づく材料認定のた
めの強度評価などを行ってきました。今後もさらなる
データ収集および得られたデータの活用を行い、
道産材の需要拡大に貢献していきたいと考えていま
す。

■参考文献

- 1) 一般社団法人日本木材学会 木材教育委員会編
木材学用語集, <https://www.jwrs.org/WTerm/>
(2023年9月27日閲覧)
- 2) JIS Z2101 : 木材の試験方法, 日本産業規格
(2009)
- 3) JAS 1152 : 集成材の日本農林規格, 農林水産省
(2023)
- 4) JAS 3079 : 直交集成板の日本農林規格, 農林水
産省 (2019)
- 5) (公財)日本住宅・木材技術センター : 構造用木
材の強度試験マニュアル (2011)