

画像相関法による木材のせん断破壊挙動の解明

森林総合研究所 宇京斉一郎

1. はじめに

木材は、力がかかる方向によってその強度的性質が著しく異なります。なかでも木材をその繊維に沿って相互にずらすせん断変形に弱く、木材を構造要素として用いる場合は、せん断によって破壊しないよう十分に考慮する必要があります。

通常、せん断強度は日本工業規格（JIS）で定められた標準試験法¹⁾によって求められます。構造物の安全性を確認するためには、あらかじめ標準試験で得ておいたせん断強度と構造物に作用するせん断力とを照らし合わせる必要があります。ところが、実際の構造物の内部では、場所によって作用するせん断力には大小の差があり、最も大きなせん断力が生じている箇所とその大きさを特定する必要があります。実は、このせん断力の分布を知るためには、木材のせん断性能に関するより詳しい情報「せん断応力 ひずみ関係」を得ておく必要があります。

「応力 ひずみ関係」は、構造解析を行う際、構造物の変形と構造物に作用する力とを結びつける重要な役割を果たします。通常、応力 ひずみ関係は、応力が均一に分布した試験体の変形量（ひずみ）を計測することで得られます。ところが木材のせん断に関してはそのような状態を作り出すことが難しく、標準試験体においても実際の応力分布は均一ではないことが知られています^{2,3)}。そのため、せん断の応力 ひずみ関係は、これまで完全には明らかとなっておりませんでした。

そこで私たちは、デジタル画像相関法⁴⁾を用いて、JIS 標準試験体の変形の様子をひずみ分布として計測してやることで、応力 ひずみ関係を計測する方法を考案しました。ここで鍵となるのは、ひずみを従来のようにスポットで計測するのではなく、

全体の変形がわかるように分布として計測することです。ひずみ量の分布情報を基にして、試験体の応力分布を推定する計算を行い、最終的に破壊に至るまでのせん断「応力 ひずみ関係」を得ることに成功しました。

2. せん断応力 せん断ひずみ関係の計測⁵⁾

JIS で採用されている木材のせん断試験体は「いす型試験体」と呼ばれており、図1左に示すように、木材片に椅子の座面と背もたれに相当するような、直角の切り欠きを設けます。いすの座面に相当する部分に鉛直方向の力を加えることで、木材をせん断破壊させます。せん断強度は、最大荷重をせん断面の面積で除して得られます。

デジタル画像相関法を用いて、いす型せん断試験体の変形の様子を捉えたものを図1右に示します。これを見ると、角の部分でひずみが大きくなっており、下方の台座に向かってひずみ量が減少していく様子がわかります。ここでは残念ながら、ひずみ分布に対応する応力分布を直接知ることはできませんが、ひずみ分布図から、次に述べる二つの手がかりが得られます。まず、ひずみ分布を計測したせん断面には外力として加えた荷重に等しいせん断力が作用し

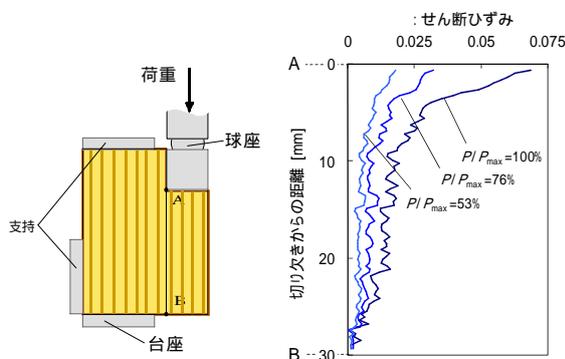


図1 いす型試験体せん断面のひずみ分布（ケヤキ まさ目面）

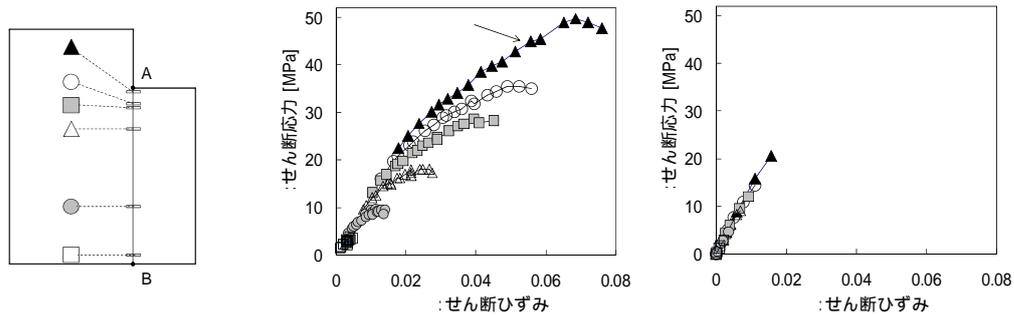


図2 せん断面の各場所のひずみ量に応じて応力を比例配分した結果（図1と同一の試験体）
右の図は真ん中の図から、最大荷重の50%以下のデータを抽出したもの。

ています。従って、各場所の応力はわからなくても、ひずみ分布に対応する応力の総和はわかります。もう一つは、応力を直接的に計測できなくても、ひずみ分布から間接的にその分布を推定することができます。なぜなら、応力もひずみ量の大小に応じて分布していると考えられるからです。

そこで上記の手がかりを基に、まず、せん断応力を各場所のひずみ量に応じて比例配分してみました。各場所について、配分された応力とひずみ量の関係を図2に示します。本来、応力とひずみの関係は材料に固有の関係ですから、もし、応力とひずみの関係が比例関係（直線関係）にあるならば、各場所について得られた応力 ひずみ関係は同一の直線に重なるはずですが、荷重レベルの小さい部分（最大荷重の50%以下）を抜き出すと、図2右に示すように関係線が重なっている様子がわかります。荷重レベルが小さいときは確かに、応力はひずみ量に比例しているようです。では、荷重レベルが大きい場合は、なぜ比例配分した結果が別々の線になるのでしょうか。

そのヒントは、せん断面の平均ひずみ量と応力の総和すなわち荷重との関係をみると明らかとなります（図3）。この関係をみると、荷重が小さいときは、荷重とひずみ量は直線関係にあります。荷重が大きくなるにつれ、荷重増加に対するひずみの増

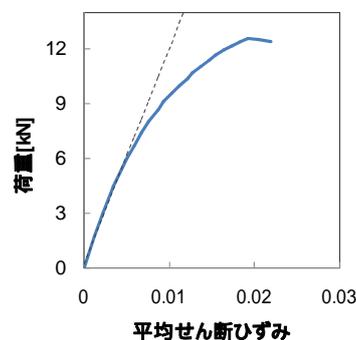


図3 せん断面の平均せん断ひずみと荷重の関係（図1と同一の試験体）

加量が大きくなることがわかります。このことは、応力とひずみの関係が非線形に移行することを示唆しています。

大きなひずみを示す場所には、非線形性を考慮して、応力を低減させて配分すれば、別々となっている関係線は一つの線に収束することが予想できます。しかし、ここにはまだクリアすべき大きな壁があります。図3からは、非線形性があるという事実はわかりますが、実際の「応力 - ひずみ関係」がどのようなカーブを描くかまではわからないからです。

私たちは、比例配分した応力 ひずみ関係（図2）に再び着目しました。個別の関係線を見ると、応力 - ひずみ関係の非線形性がここでも現れています。そこで、この関係曲線の中から最も広い範囲のひずみをカバーしている曲線を、求めるべき「応力 ひずみ関係」の近似曲線として用いることを考えました（図2中に矢印で示す曲線）。この関係曲線に基づいて、各場所に応力を

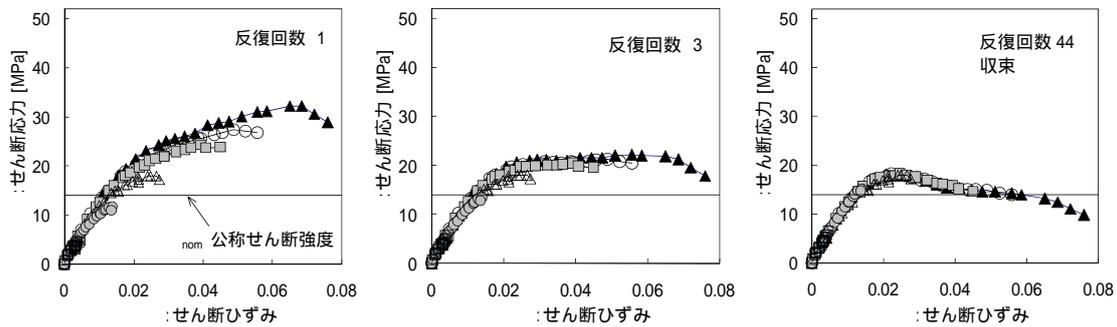


図4 応力 ひずみ関係の非線形性を考慮して応力を再配分した結果
(図1と同一の試験体)

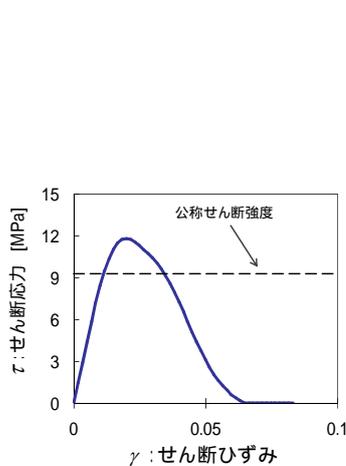


図5 応力 ひずみ曲線の例
(スプルース, まさ目面)

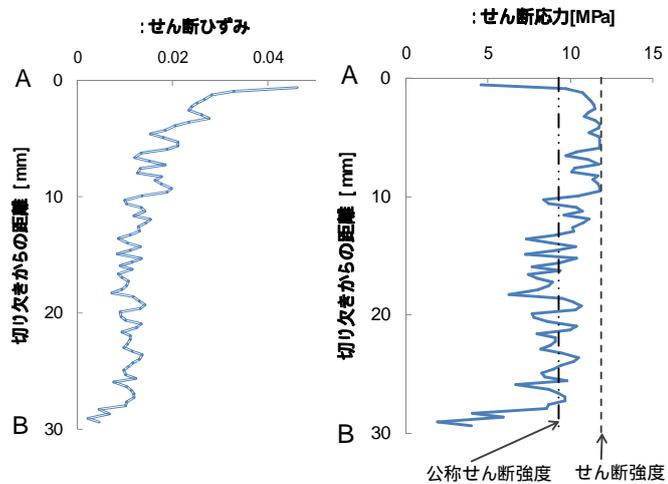


図6 最大荷重時のせん断面のせん断ひずみ分布とせん断応力分布の関係(図5と同一の試験体)

再配分した結果を図4に示します。再配分を繰り返す毎に、それぞれの線は互いに近づき、最終的に収束した一つの関係曲線、すなわち、材料に固有の「応力 - ひずみ関係」を表す曲線が得られます。

3. 木材のせん断応力 - せん断ひずみ関係の特徴

以上のようにして得た、木材のせん断応力 - せん断ひずみ関係の一例を図5に示します。ひずみが増加すると、応力は直線的に増加し、徐々に非線形性を示し、最大応力を経た後は、ひずみ増加に伴って応力が低下する様子わかります。図5の計測を行った試験体の、最大荷重時のひずみ分布と応力分布を照らし合わせたものを図6に

示します。既に図1でみたように、ひずみはいす型試験体の角の付近で大きくなっている様子がわかります。しかし、対応する応力分布をみると、応力は比較的なだらかに分布していることがわかります。これは、ひずみ量の大きい箇所が、応力 - ひずみ関係の非線形域に相当するため、ひずみ量が増加しても応力はそれほど増加しないためです。

図中に点線で示すのは、通常いす型せん断試験で得られる強度(公称せん断強度)です。実際のせん断強度は標準試験法で得られる値よりはやや大きくなることわかります。

4. おわりに

デジタル画像相関法を用いて、せん断応力 せん断ひずみ関係を計測する新しい手法をご紹介します。この手法により JIS の標準試験体のひずみ分布情報をもとに、破壊に至るまでの応力 ひずみ関係を計測することが可能となります。

「応力 ひずみ関係」自体は、材料の変形と力の関係を記述したものに過ぎません。木材の場合、分子構造、細胞構造、年輪構造等、その構成には階層性があるので、着目するオーダーによって記述される内容は異なってきます。現在のところ、私たちの研究では年輪構造も含めたオーダー（無欠点小試験体程度の大きさ）に着目しています。このレベルでの記述の有効性を確かめるためには、得られた「応力 ひずみ関係」を用いて、接合部等の構造要素の挙動をどれだけ精度良く予測できるかを確認する必要がありますと考えています。今後は、木材の強度的性質を基に、構造要素の破壊挙動を解明する研究⁶⁾を進めていきたいと考えています。

参考文献

- 1) JIS2101:“ 木材の試験方法 ”, 日本規格協会, 1994
- 2) Radcliffe, B.M., Suddarth, S.K.: *Forest Prod. J.* 5(2), 131-135(1955).
- 3) 佐々木光, 満久崇麿: 木材研究 41, 90-96(1967).
- 4) 村田功二, 増田 稔, 市丸美幸: 木材学会誌 45(5), 375-380(1999).
- 5) 宇京斉一郎, 増田 稔: 木材学会誌 50(3), 146-150 (2004).
- 6) 宇京斉一郎, 林 知行, 原田真樹, 軽部正彦: 木材学会誌 53(2), 90-98 (2007).