

実大材を用いためり込み・せん断試験方法の検討

森林総合研究所 井道裕史

はじめに

木造住宅などの木造建築物を安全に設計するためには、木材の持つ強度性能をきちんと把握しておかなければなりません。これらの強度性能の基礎となる強度値を、国土交通省では基準強度として告示で定めています。その中に、製材、構造用製材（建築物の構造耐力上主要な部分に使用する製材）に対する基準強度¹⁾²⁾というものがあります。これらの値は長らく無欠点小試験体という、節などの欠点がなく、サイズも数センチから数十センチという小さな試験体による試験結果を基に決められてきました。ところが、木造建築物で実際に使用される木材は、柱や梁などサイズが大きく、さらに節や繊維傾斜など木材の強度に影響を与える様々な因子が含まれています。そのため、現在の基準強度は実大試験の結果を基にしたものに移行しつつあります。

ところで、木材の強度は、荷重の加わる方向でいくつかの種類があります。基準強度に示されている強度には、曲げ強度、縦引張り強度、縦圧縮強度、めり込み強度、せん断強度があります。めり込みとは木材の繊維と直交方向に部分的に圧縮が加わる力、せん断とは木材が繊維に沿ってずれるように働く力のことです。そのうち、曲げ、縦引張り、縦圧縮強度は実大材による強度試験も多く行われ、基準強度も実大材での試験結果が基となっています。ところが、めり込み、せん断の基準強度は現在でも無欠点小試験体の試験結果から導かれた値であると考えられています。その理由として、まず、実大材を用いためり込み、せん断試験データが十分でないことが挙げられます。次に、上記の理由とも関連しますが、これまで実大材を用いためり込み、せん断試験は様々な方法で行われてきており、

試験方法や評価方法によって試験結果が一致しない、また、どのような試験条件が試験結果に影響を及ぼすのかがよくわかっていないということが挙げられます。

そこで私たちは、めり込み、せん断試験について、試験方法、試験条件を変化させ、それらがめり込み、せん断性能にどのような影響を及ぼすのかを検討しました。

試験条件の違いがめり込み性能に及ぼす影響

ベイマツの製材品を用いて試験体の形状、加圧方法を変化させてめり込み試験を行い、それらの違いが試験結果にどのような影響を及ぼすのかを検討しました。同じ供試体から各条件に該当する試験体をそれぞれ作製しました。基本となる試験条件は、材長150mm、材せい100mm、材幅100mm、試験体上部中央加圧、加圧板幅50mm（材長試験では100mm）とし、他の条件を同じにして、表1に示した各条件をそれぞれ変化させました。図1にめり込み試験方法を示します。材料試験機を用いて加圧板に荷重を加え、試験機の両クロスヘッド間の変位を測定しました。

表1 めり込み試験で変化させた条件

条件	内容
材長	100、200、300、400、500mm
材せい	30、50、100mm
材幅	30、50、100mm
加圧方法	上部、上下
加圧板位置	中央、材端
加圧板長	50、100mm

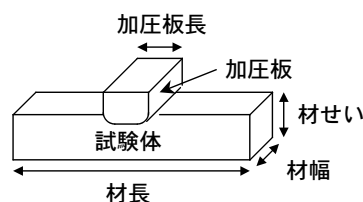


図1 めり込み試験方法

評価の対象としためり込み強度は、構造用製材の試験方法の国際規格である ISO 13910³⁾ に準じて算出しました。ただし、ISO 規格では上下加圧のみが示されているため、上部加圧の場合は上下加圧の上半分を加圧したと仮定しました。めり込み強度 $f_{c,90}$ は $F_{max}/(bd)$ で算出されます。ここで、 F_{max} は試験体が破壊したときの荷重 F_{ult} 、あるいは材せいの変形が 20mm（上部加圧の場合は 10mm）生じたときの荷重 F_{20mm} （上部加圧の場合は F_{10mm} ）の小さい方の荷重、 b は材幅、 l は加圧板長です。試験体破壊時の荷重は木口に割れが生じた時点としました。

図 2 に材長を変化させたときの結果を示します。材長が 100mm から 300mm（加圧板端部から試験体端部までの余長と言うと 0mm から 100mm）の範囲では、材長を長く取るほどめり込み強度は大きくなり、めり込み強度には材長（余長）の影響があると考えられました。これは、木材の繊維が縦方向につながっているために、横方向から部分的に圧縮を加えると、圧縮された部分だけでなく周囲の余長部分も同時に抵抗しているためです。しかしながら、材長が 300mm より長くなるとめり込み強度はほとんど変化しませんでした。そのため、材長 300mm（余長 100mm）付近が材長の影響の有無を分ける境界であると考えられます。図 3 に材せいを変化させたときの結果を示します。材せいが増加してもめり込み強度には明確な違いは

認められませんでした。しかし、めり込み強度は材長と材せいの組み合わせによって変化するという報告⁴⁾もあることから、今回は材長が比較的短い試験体を用いたために、めり込み強度にはあまり影響を及ぼさなかったという可能性もあります。図 4 に加圧板位置と加圧方法を変化させたときの結果を示します。加圧板位置では、中央加圧のめり込み強度が材端加圧のそれを上回ることがわかりました。中央加圧では両側の余長部分が同時に抵抗し、材端加圧では片側の余長でしか抵抗しないためにめり込み強度に差が出るのだと考えられます。また、加圧方法での差はあまり明確には現れませんでした。

なお、材幅、加圧板幅に関しては、めり込み強度に及ぼす影響はそれほど大きくありませんでした。

異なる試験方法によるせん断性能の違い

スギ、ヒノキ、ベイマツ、ベイツガ製材品を用いて 4 種類の方式でせん断試験を行い、各方式によるせん断強度の関係を把握しました。各樹種の製材品から、3 点曲げ方式、5 点曲げ方式、JIS 方式、実大いす型方式の試験体をそれぞれ採取しました。

3 点曲げ方式と 5 点曲げ方式の試験方法を図 5 に示します。ISO では構造用製材の試験方法として、3 点曲げ、5 点曲げ方式のせん断試験が示されています。梁に曲げ荷重が加わると、梁には曲げ応力だけでなくせん

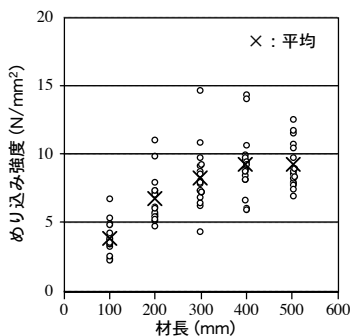


図2 材長とめり込み強度との関係

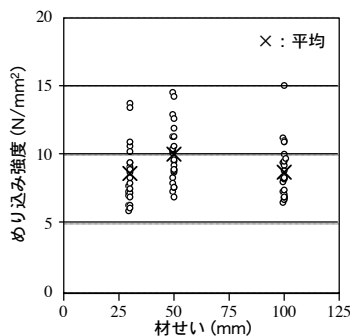


図3 材せいとめり込み強度との関係

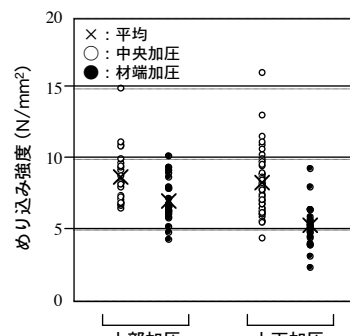


図4 加圧板位置、加圧方法とめり込み強度との関係

断応力が生じます。せん断応力は中立軸（曲げモーメントあるいは曲げモーメントと軸方向力を受ける部材の断面において、材軸方向に生じる引張り領域と圧縮領域との境界線）で最大となり、試験体が曲げで破壊する以前に、せん断応力が試験体の持つせん断強度に達すると試験体はせん断破壊を生じます。梁せいに対するスパン（下部支点間距離）が短いとせん断破壊が起きやすいとされていますが、実際の試験ではすべての試験体でせん断破壊を生じさせることは困難であることが報告されています⁵⁻⁶⁾。そこで、確実にせん断破壊を生じさせるために、いす型の試験体を用いたせん断試験を行いました。

図6に実大いす型試験体とJIS試験体を示します。JIS方式とは、いす型に加工した無欠点小試験体を用い、いすの腰掛け部分に当たる位置に上部から荷重を加え、せん断破壊を生じさせる方法で、これが無欠点小試験体でのせん断の標準試験法としてJISに定められています。実大いす型方式とは、JISの試験体を実大サイズの寸法で行うことを意図して、新たに試験装置を試作して実験を行ったものです。

せん断強度は、3点曲げ方式で $3P_{\text{ult}}/4A$ 、5点曲げ方式で $33P_{\text{ult}}/64A$ として算出されます。ここで、 P_{ult} は破壊時の荷重、 A は試験体の断面積です。せん断ではなく曲げで破壊した試験体も破壊時の荷重をせん断強度の

式にあてはめて算出しました。また、各曲げ方式で破壊形態（せん断型、曲げ型、せん断・曲げ複合型、めり込み型）を記録して、樹種によるせん断破壊のしやすさを調べました。実大いす型方式とJIS方式のせん断強度は、荷重をせん断面の面積（それぞれ $100 \times 100\text{mm}^2$ 、 $30 \times 30\text{mm}^2$ ）で除すことで算出されます。

3点曲げ方式と5点曲げ方式での破壊形態の内訳を表2に示します。3点曲げ方式では、せん断のみで破壊した試験体の割合はスギが最も小さく0%、最大のヒノキでもわずか13%でした。せん断破壊と曲げ破壊がほぼ同時に生じた複合型では、各樹種での割合はやや増加しましたが、スギでは圧倒的多数で曲げ破壊を生じました。スギは他の樹種と比較してせん断強度に対して曲げ強度が低いため、せん断スパンを短くしたにもかかわらずせん断で破壊する荷重以前に曲げで破壊することが原因であると考えられます。3点曲げ方式では、すべての樹種で、せん断型、複合型を合わせても、せん断に関する破壊は全体の半数に満たないことが改めて明らかとなりました。一方、5点曲げ方式では、ベイマツおよびベイツガのせん断破壊の割合がそれぞれ40%、50%となり、3点曲げ方式に比べてせん断破壊の確率が高いことがわかりました。

各試験方式でのせん断強度の平均値を表

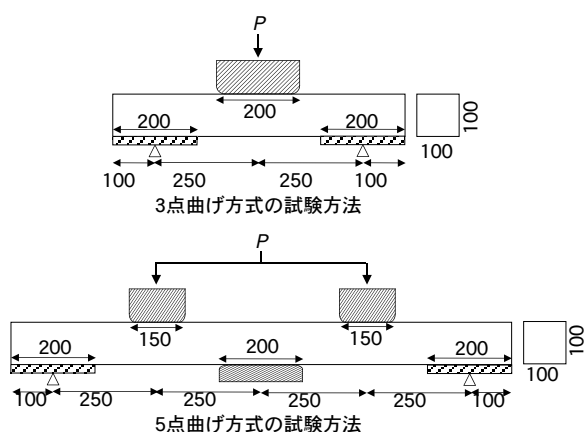


図5 3点曲げ方式と5点曲げ方式の試験方法（単位：mm）

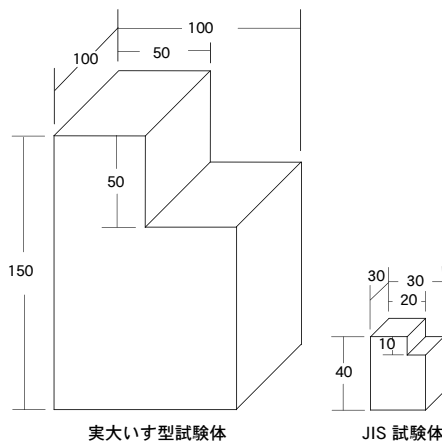


図6 実大いす型試験体とJIS試験体（単位：mm）

3 に示します。「5 点曲げ方式は 3 点曲げ方式よりも下限値は高めになる傾向がある」³⁾とされていますが、今回の結果を平均値で見ても、ベイマツ、ベイツガともに 5 点曲げ方式のほうが大きく、その差は両樹種とも 1.3 倍程度であることがわかりました。

いす型方式では、平均値で見ると、JIS 方式を行っていないヒノキを除いたすべての樹種で JIS 方式のほうが実大いす型方式よりもせん断強度が大きいという結果となりました。実大いす型方式の試験体でも極力欠点を避けて採材したことを考えますと、欠点の有無以上に寸法効果（ここではせん断面積が大きくなるにつれてせん断強度は低下するという法則）が影響していると考えられます。また、ともに実大材を用いた曲げ方式と実大いす型方式のせん断強度を比較すると、実大いす型方式の平均値は 3 点曲げ方式と 5 点曲げ方式の間の値でした。

表2 破壊形態の内訳

3点曲げ方式	試験体数	S (%)	B (%)	SB (%)	C90 (%)
スギ	54	0	91	9	0
ヒノキ	40	13	53	35	0
ベイマツ	50	6	64	30	0
ベイツガ	50	12	54	34	0
5点曲げ方式	試験体数	S (%)	B (%)	SB (%)	C90 (%)
スギ	-	-	-	-	-
ヒノキ	-	-	-	-	-
ベイマツ	50	40	30	28	2
ベイツガ	50	50	32	18	0

注: S: せん断, B: 曲げ, SB: せん断・曲げ複合, C90: めり込み

表3 各方式でのせん断強度(τ)の平均値

3点曲げ方式	τ (N/mm ²)	変動係数(%)
スギ	5.96	16.2
ヒノキ	8.45	16.6
ベイマツ	6.10	20.7
ベイツガ	6.25	17.9
5点曲げ方式	τ (N/mm ²)	変動係数(%)
スギ	-	-
ヒノキ	-	-
ベイマツ	7.82	13.6
ベイツガ	8.22	12.0
実大いす型方式	τ (N/mm ²)	変動係数(%)
スギ	6.41	13.8
ヒノキ	8.74	18.8
ベイマツ	7.62	13.3
ベイツガ	7.50	15.3
JIS方式	τ (N/mm ²)	変動係数(%)
スギ	7.50	25.0
ヒノキ	-	-
ベイマツ	9.47	16.2
ベイツガ	9.49	13.9

おわりに

実大材を用いためり込み、せん断性能に関する研究をご紹介します。研究の結果、めり込み、せん断に対して、どの試験条件が強度に影響を及ぼし、また、それぞれの試験条件による強度の違いを知ることができました。今後は、どの試験方法が最も適切であるのか、あるいは、異なる試験方法を用いてもそれらの結果を統一できる評価方法の開発が必要であり、そのための研究を進めていきたいと思っています。また、今回ご紹介した研究や評価方法についての検討を文献⁷⁻⁹⁾に示しましたので詳しくはそちらを参照ください。

参考文献

- 1) 建設省告示第 1452 号, 平成 12 年 5 月 31 日.
- 2) 国土交通省告示第 1024 号, 平成 13 年 6 月 12 日.
- 3) ISO 13910 Structural timber (2005)
- 4) 川元紀雄, 金谷紀行, 木材学会誌, **37**, 16-23 (1991).
- 5) Riyanto, D.S., Gupta, R.: *Forest Prod. J.* **48**(2), 83-90 (1998).
- 6) (財) 日本住宅・木材技術センター: “エンジニアリングウッド性能評価事業報告書”, 1999, pp.87-89.
- 7) 井道裕史, 長尾博文, 加藤英雄: 森林総合研究所研究報告 **3**(4), 349-363 (2004).
- 8) 井道裕史, 長尾博文, 加藤英雄: 木材学会誌 **50**(4), 220-227 (2004).
- 9) 井道裕史, 長尾博文, 加藤英雄: 木材学会誌 **52**(5), 293-302 (2006).