

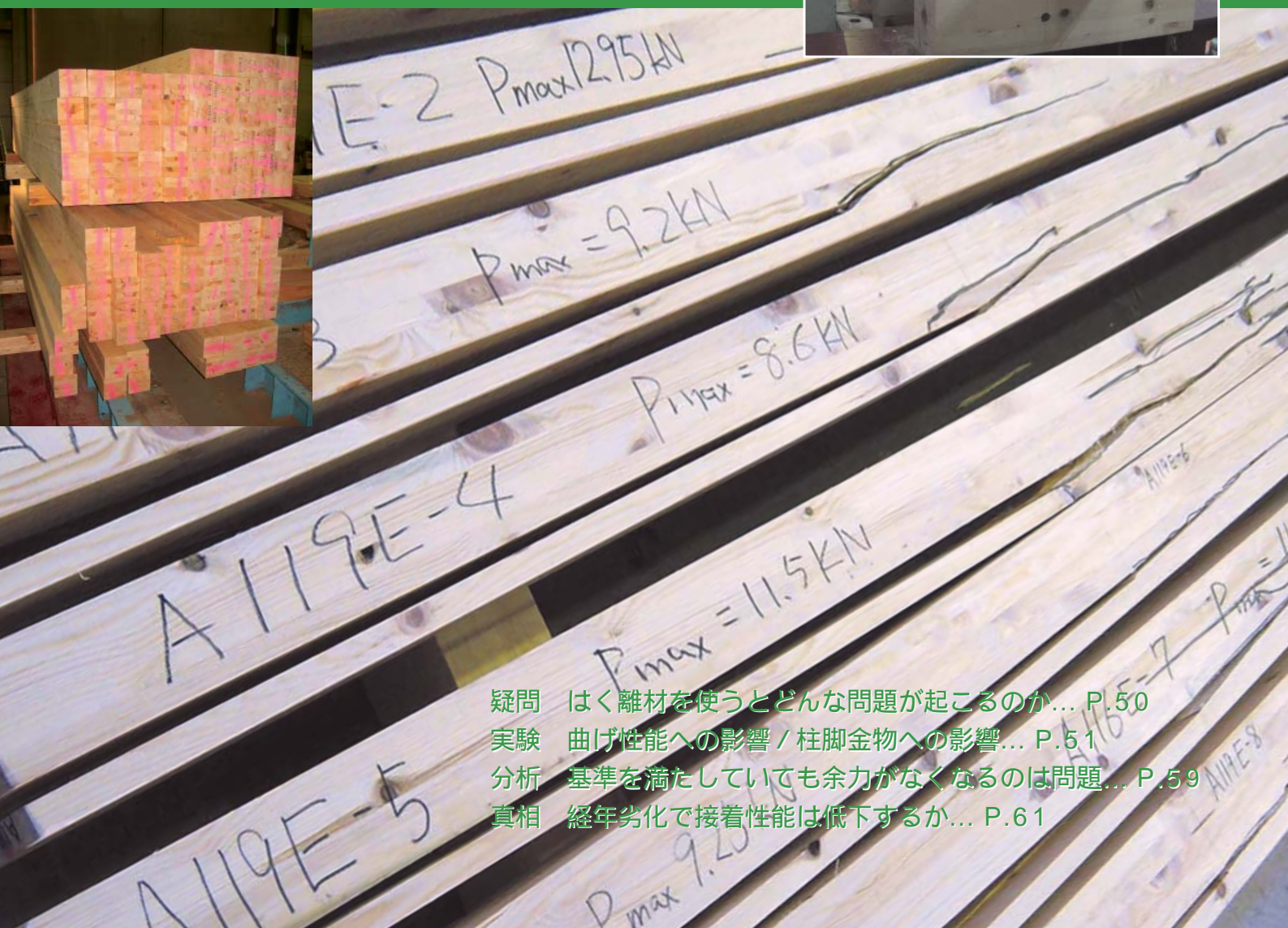
特集 柱として使ったときの影響は？

# はく離集成材の性能を検証

(特記以外の写真：ボラス暮し科学研究所)

接着層にはく離のある構造用集成材が見つかった。はく離した材を柱に使うと、座屈しやすくなるのではと指摘する専門家もいる。また、はく離のある柱脚部に固定金物を取りつけていたら、どうなるのだろうか。疑問を明らかにするために、120本の集成材を加工してはく離したのと同じ状態とし、曲げ性能や、柱脚金物への影響を実験によって検証した。また、集成材の耐久性についても、専門家への取材を基に探った。

(細谷陽二郎、荒川尚美、池谷和浩=フリーライター)



- 疑問 はく離材を使うとどんな問題が起こるのか... P.50
- 実験 曲げ性能への影響 / 柱脚金物への影響... P.51
- 分析 基準を満たしていても余力がなくなるのは問題... P.59
- 真相 経年劣化で接着性能は低下するか... P.61

# 危険度を確認するために性能への影響を調べた

いまや構造用集成材は非常に身近な材料だ。内部まで十分に乾燥できることから、ムク材に比べて寸法変化が少ないというメリットは以前から知られていた。こうした信頼感があるためか、普及率は着実に伸びている。

その一方で、品質に不安を感じさせる事件も起こっている。2002年にはドイツのアントン・ヘッゲンシュタレル・ベルカ社製の材、05年には中国のチャイナ・パシフィック・ラミネーター（CPL）社製の材で、接着層のはく離が見つかった。いずれも、管柱として一般的な106mm角の材だ。農林水産省はその事実を公表したが、原因を特定するまでには至っていない。

本誌はこれらの事件を報じてきた。取材のたびに気付かされたのは、構造用集成材の性能は「適切に製造された材」を前提に考えられているという、当たり前の事実

だ。はく離を起こした不良品の性能を研究した例は、見当たらない。

接着層の厚さはわずか数ミクロン。建て方前に接着不良部分が存在するかを目視で見つけるのは難しい。2件の事件ではく離材が見つかったのは、いずれも建て方の方の終わった後だった。

万が一、上棟後に柱材のはく離が見つかったら、住宅会社としてはあわててしまつたろう。しかしはく離材の性能がわかれば、強度的な問題の有無を見極められる。今回の実験は、これを明らかにすることが目的だ。

実験では、材を貫通し、材長の3分の1程度まではく離した試験体も用意した。極端ではあるものの、過去2回の事故で見つかったはく離の原因が特定されていない以上、ここまではく離した材も出現する可能性はある。最悪の場合に性能がどの程度低下するかを調べようと考えた。

## 実験全体と曲げ実験の概要

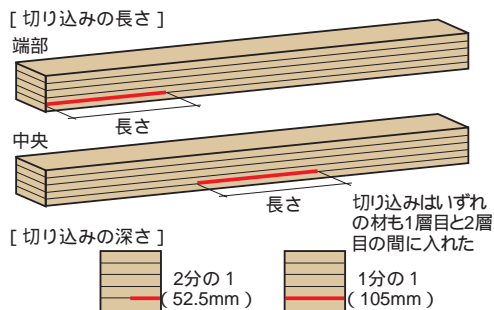
### はく離の代わりに丸ノコで切り込みを入れる

105mm角、5プライ（一部4プライ）の構造用集成材を120本購入。樹種はオウシュウアカマツ、材長は3080mm、JASの強度等級はE95 - F315、接着剤はイソシアネート系だ。接着層に丸ノコで切り込みを入れてはく離材の代わりとし、切り込みの深さ、長さを変えた複数のタイプの試験体を8本ずつ用意して、切り込みのない材に比べてどの程度性能が低下するかを測定した。調べたのは、曲げ性能と、ホールダウン金物を取りつけた際の引っ張り性能だ。左は曲げ性能を調べる実験に使った試験体の仕様（引っ張り実験のときの仕様は55ページを参照）。「切り込み深さ2分の1、長さ60cm、切り込み位置は材の中央部」を記事中では「1/2・60・中」のように表記した。



丸ノコで接着層に切り込みを入れ、はく離材の代わりとした

曲げ実験の試験体の仕様



試験体の数	長さ			
	0 (切り込みなし)	60cm	90cm	120cm
0 (切り込みなし)	10本	—	—	—
深さ	2分の1	— 端部：8本 中央：8本	— 端部：8本 中央：8本	— 端部：8本 中央：8本
	1分の1	—	— 端部：8本 中央：8本	— 実施せず

実験1

# 曲げ

## 深い切り込みを入れた材は曲げ強度の基準値を下回った

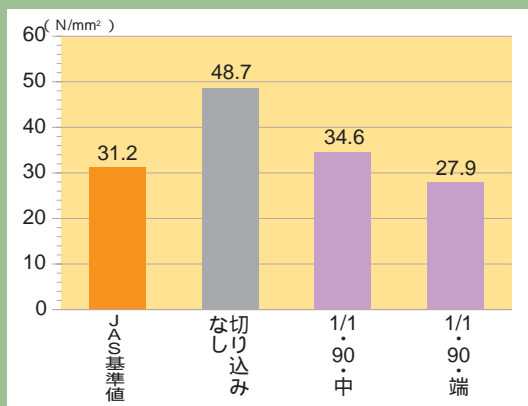


切り込み側のたわみ大きい

材を貫通する切り込み（深さ1分の1）を、端部から長さ90cm入れたタイプ（1/1・90・端）の曲げ強度は、今回の試験体の中で最も低かった。平均値は実験に使った「E95-F315」の材のJAS基準値を下回った。加力開始直後にパキパキと材が割れていく音が聞こえ始めた。木口を見ると、切り込み下方のラミナがずれている。切り込み部から亀裂が上4層の方向に生じ、長いものは1m以上に達した。切り込みから下のラミナはほとんど割れていなかったことから、上4層分だけで荷重に耐えていたことがわかる。



切り込み深さ1/1の平均曲げ強度



曲げ実験の平均値は最大値と最小値を削除して算出した。「曲げ強度」と、この後に出てくる「相当ヤング係数」の意味は54ページ参照

材の中央に深さ1分の1の切り込みを入れたタイプ（1/1・90・中と1/1・60・中）の曲げ強度は、平均値ではJAS基準値を上回ったものの、個別に見ると下回る試験体もあった。パーンという音を立てて、切り込みから下のラミナで破断したものが多かった。中央部に切り込みはあっても、両端は接着されていたことから、5層分で荷重を受けていたと考えられる。



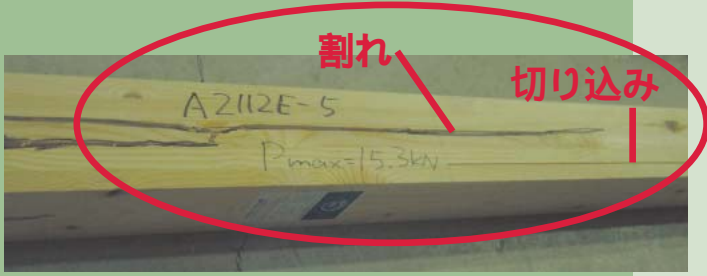
切り込みの上下層とも割れていく

実験1  
曲げ

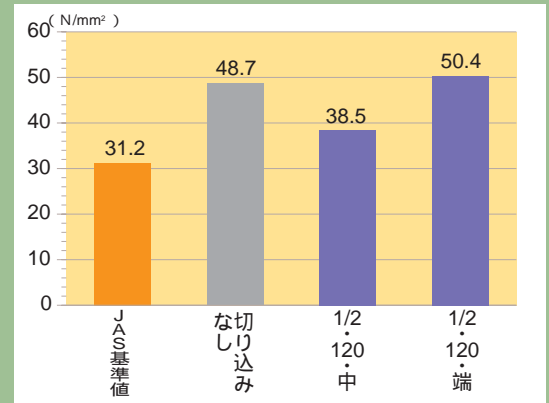
# 切り込み深さ2分の1は 予想以上に粘った



深さ2分の1の切り込みを材の端部に長さ120cm入れたタイプ(1/2・120・端)は、試験体中、断面欠損が最も大きかったにもかかわらず、平均値で見ると、曲げ強度、相当ヤング係数とも切り込みなしの材を上回った。加力によって切り込みが深くなることはほとんどなかった。また、切り込みから部から割れが生じていくような現象は深さ1分の1ほどはなく、切り込みより上の部分が割れていった。



切り込み深さ1/2の平均曲げ強度



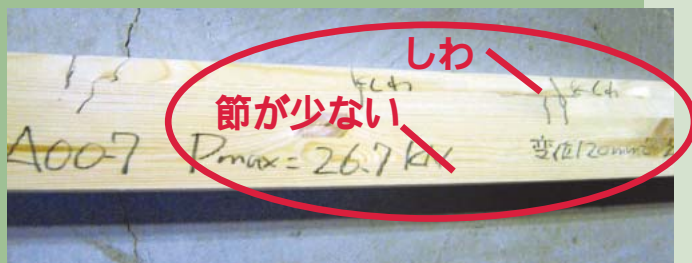
材の中央に深さ2分の1の切り込みを入れたタイプ(1/2・120・中)の曲げ強度は、平均値で見ると、同じ深さ・長さの切り込みを端部に入れたものより低かった。端部に入れた場合と同様に、加力によって切り込みが深くなる傾向は見られなかった。左上の写真は切り込みを入れた側、左下は反対側だ。切り込み部から、割れていった様子が見える。

実験1

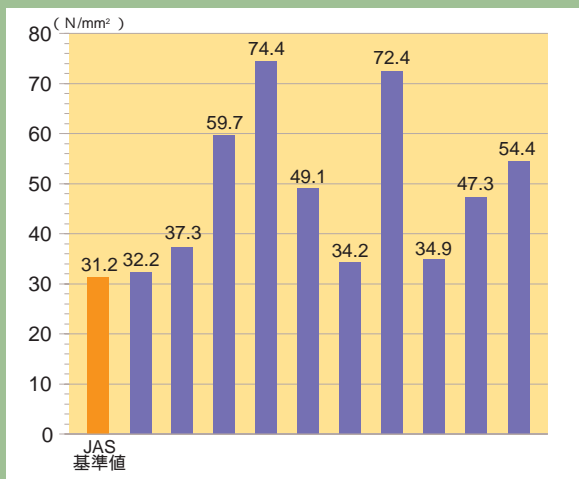
曲げ

# 切り込みなしはばらつきが大きい 節の影響が顕著に表れた

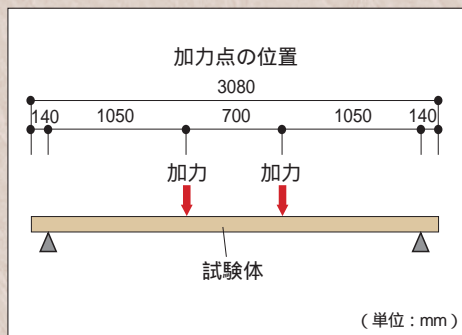
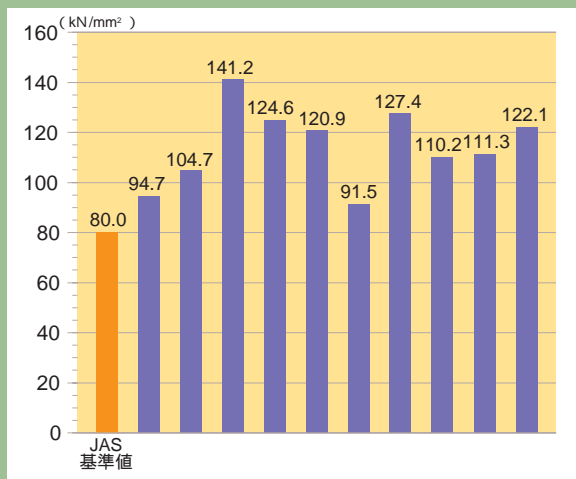
切り込みなしの試験体の曲げ強度と相当ヤング係数は、かなりばらついた。切り込みという「弱点」のなかったことで、節の影響がより顕著に表れたと考えられる。すべて基準値は満たしていたものの、試験体は曲げ強度が基準値の倍以上ある一方で、試験体は基準値すれすれだった。試験体（右上の写真）は、大きな力を受ける下端のラミナに節があったため、そこから破断した。試験体（右下の写真）は、下端のラミナに節がほとんどなかったことから、強さを発揮した。上端のラミナに、強い圧縮力を受けたことを示すしわが残った。



切り込みなしの全試験体の曲げ強度



切り込みなしの全試験体の相当ヤング係数



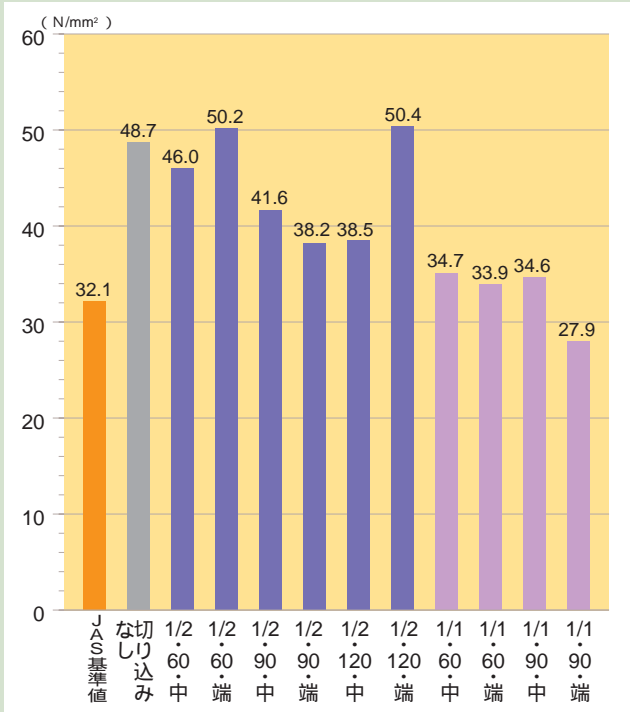
切り込み部を下側にして試験体を配置した。節の少ない面が下側になるように配慮した

左の写真のような実験装置に試験体を載せて上部2点から加力し、変位量を5個所で測定した。試験体が破断して加力できなくなるまで(終局まで)実験を続けたが、変位が120mmを超えても破断しなかったときは加力をやめ、そのときを最大強度とした。

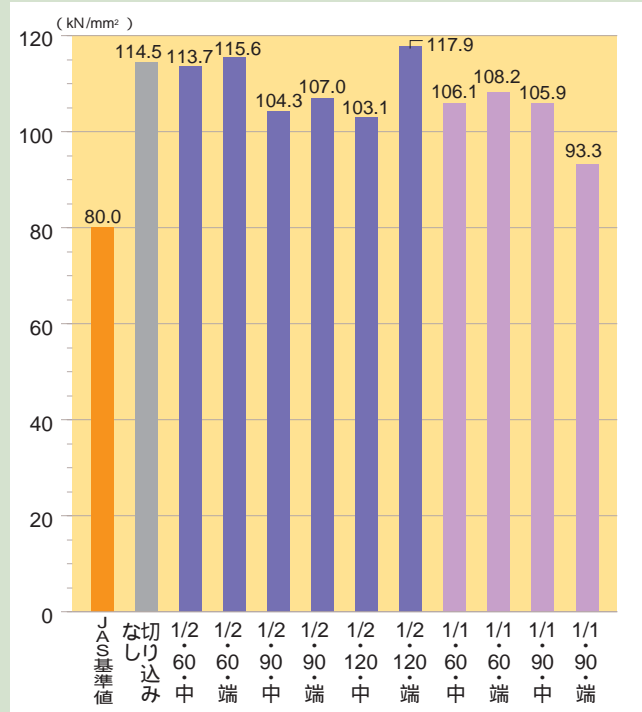
曲げ試験・加力方法

# 切り込み深さで明暗が分かれた

タイプ別平均曲げ強度



タイプ別平均相当ヤング係数

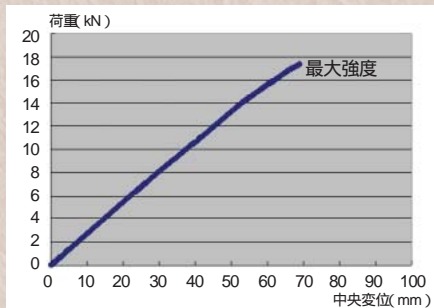


曲げ実験は、切り込み深さ1分の1と2分の1とで大きな違いが出る結果となった。深さ1分の1の曲げ強度は、4タイプすべてが切り込みなしより下回り、位置が同じなら、切り込みが長いほど低下するという、わかりやすい傾向が見られた。中央より端部に切り込みのあるほうが、低くなることもわかった。

一方、切り込み深さ2分の1は、切り込みなしより曲げ強度が高くなるタイプもあったことから、明らかかな低下傾向は見られなかった。節の有無や材の比重などさまざまな検討を行ったが、理由はみつからなかった。

相当ヤング係数は、すべてのタイプがJAS基準値を上回った。深さ1分の1では切り込みが長いほど、相当ヤング係数は下がった。深さ2分の1は、曲げ強度と同様に、明確な傾向は見られなかった。下側のラミナに節があると、そこから割れる。節の多いほうが曲げ強度は下がる、といったことも判明した。はく離と節が重なることさらに弱くなる。集成材といえどもムク材と同様、節が強度に大きく影響することを示している。

荷重・変位曲線図の一例(1/2・90・中)



**最大強度**とは、材にかけることのできた最大の荷重。今回の試験では左のグラフのように、最大強度に達したのと同時に破壊する試験体が多かった。

**曲げ強度**とは、材が完全に破壊するまでの強さ。最大強度などから計算によって求める。値が大きいほど強い。

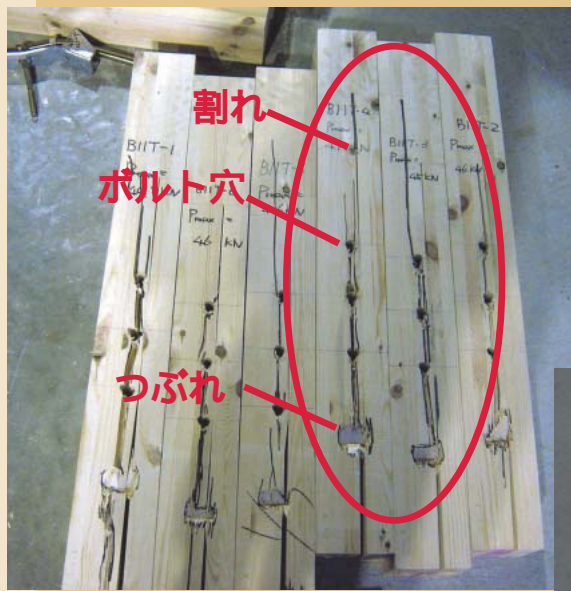
**曲げヤング係数**とは、材が1mm変形するのに必要な力の大きさを、値が大きいほど強いことを意味する。一般的には材種ごとの特性を表す。今回は切り込みの影響を示すものとしたので、**相当ヤング係数**と名称を変えた。

実験データの見た

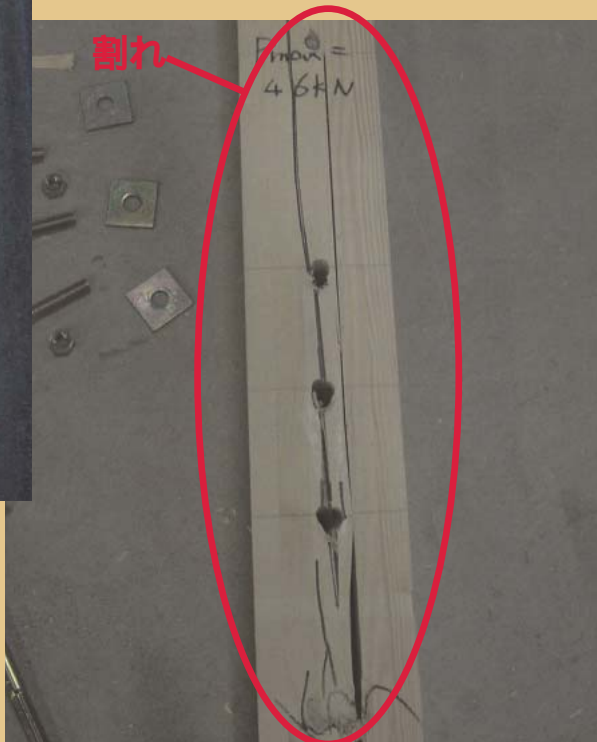
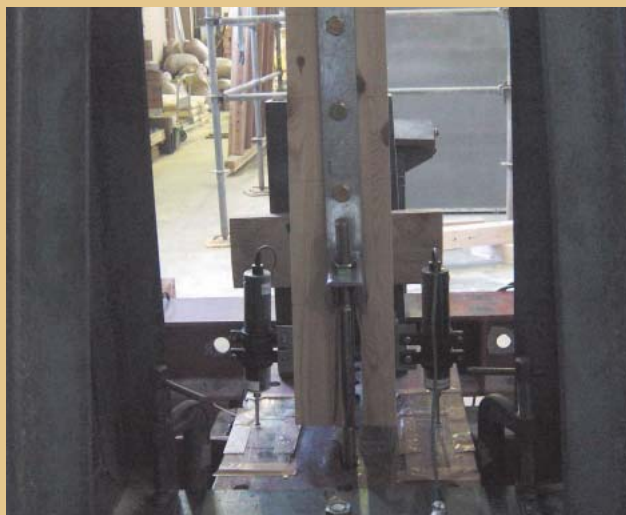
# 3層分だけで荷重を負担 ボルトに沿って割れた

1 / 1・縦使い  
(接着層と並行にボルトを設置)

ここからは、端部に切り込みを入れホールダウン金物を設置した試験体を、上下方向に引っ張った実験の結果を報告する(仕様の詳細は56ページ下の囲みを参照)。切り込み深さ1分の1、5プライの試験体は、ラミナが3層と2層とに完全に分かれている。このためボルトを入れた3層分だけで荷重を負担したことになる。3層だけでは大きな力には耐え切れず、3つのボルト穴に沿って割れた。左の写真は実験後の試験体。ボルト穴の下に見える四角いつぶれは、金物が食い込んで生じたもの。下の写真は実験後のホールダウン金物。大きく変形している。



短期基準耐力荷重 : 19.5 kN



右の写真は、実験後の切り込み1分の1の試験体をアップで見たもの。ボルト穴に沿って割れが入っている。割れは上にも伸びている。切り込みのない側に伸びた試験体が多かった。上の写真は実験中の様子。加力とともに切り込み部分の下端が開いていった。

# 割れたのは6本中1本だけ 耐力は必要性能の1.7倍

切り込みなし・縦使い

穴の広がり



上と右の写真は、実験後の切り込みなしの試験体。ボルトに沿って割れの入った試験体は6本中1本だけ。そのほかはボルトがめり込み、穴が広がっただけだった。

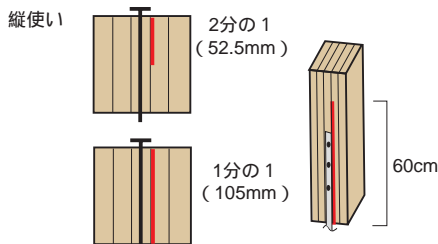
短期基準耐力荷重：25.3kN



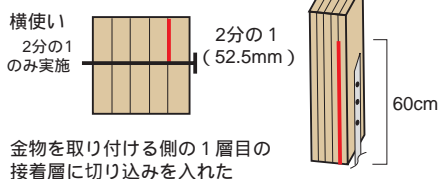
## 引っ張り実験の概要

### 試験体の仕様

切り込みの深さと位置・ホールダウン金物の設置方法



ボルト穴に近い2層目と3層目の間の接着層に切り込みを入れた



### 各タイプの本数

	深さ	試験体数
縦使い 5プライ	0 (切り込みなし)	6本
	2分の1	6本
	1分の1	6本
横使い 5プライ	2分の1	6本

切り込みの長さはすべて60cm

切り込みを入れた試験体の柱脚部に15kN用のホールダウン金物を設置。引っ張ったときに、十分な性能を発揮できるかを調べた。引っ張りによる方法は、金物が建築基準法告示1460号に適合しているかを確認するためのもの。実験データから「短期基準耐力荷重」を算出する。本来は木材にムクのスギ材を用いるが、今回は金物に「Zマーク認定品」を用い、木材をはく離集成材に置き換えることで、はく離集成材が金物の持つ性能を発揮させられるかを見た。記事中では「切り込み深さ2分の1、接着層と並行にボルトを設置」を、「1/2・縦使い」のように表記した。

（この部分のテキストは上記の段落と重複するため省略）



実験2

引っ張り

# 切り込み深さ2分の1でも ラミナは割れた

1/2・縦使い



切り込み深さ2分の1の材でも、6本中すべて、ボルト穴に沿って割れが生じた。深さ1分の1の試験体と違って切り込み側に伸びたものが多かった。切り込みが半分だったことで、切り込み側の2層分にも力が加わったためと考えられる。左下の写真は実験後の試験体。左上の写真は実験中の様子。深さ1分の1で見られたような切り込みの広がりにはなかった。

短期基準耐力荷重：22.6 kN

## ボルトで締めても 性能は低下した

金物を取りつけるボルトは、接着層と直交することもある。はく離があってもボルトで締め固められるので問題はないのではと予想していた。ところが、この状態にした試験体も切り込みなしの材より性能は下がった。金物に最も近い接着層に切り込みを入れるという、不利な条件で実施したことも関係しているかもしれない。右上の写真は加力中の様子。はく離層手前の1層分のラミナに割れが生じている。右下の写真は実験後の試験体。1層分が割れ、残り4層分で荷重を負担したことで性能が低下したと考えられる。



ラミナの割れ



1/2・横使い  
(接着層に直交させてボルトを設置)

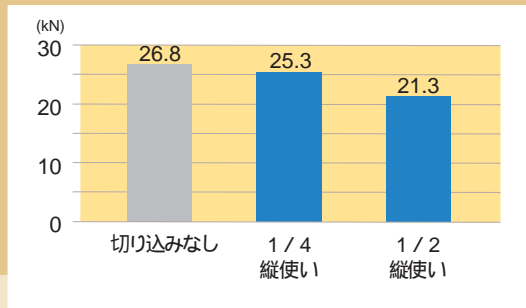
短期基準耐力荷重：20.6 kN

# 4プライ材の中央のはく離では 深さごとの性能低下が顕著に



柱としては一般的ではない材だが、4プライの試験体も用意し、中央に切込みを入れて引っ張り実験をしてみた。切り込みは、「なし」「4分の1」「2分の1」の3タイプ。下のグラフはその結果だ。各1本ずつなので参考程度だが、切り込みの深さに比例した性能低下の傾向が明確に表れた。

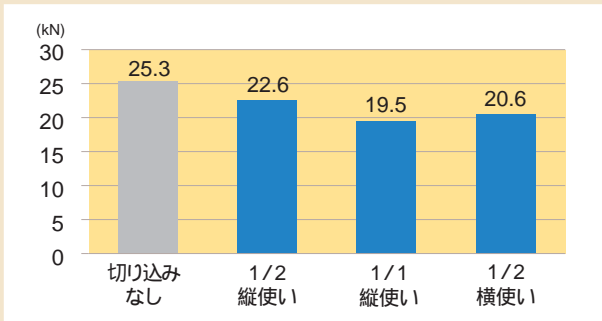
## 4プライの試験体の短期基準耐力荷重



## 実験2 引っ張り まとめ

# はく離の影響は明白だが金物の必要耐力は超えた

## タイプ別実験結果 (短期基準耐力荷重)



実験に用いたホールダウン金物は15kN用。15kNを超えれば、一応問題はないことになる。切り込みによって性能は低下したが、この値を下回るほどではなかった。ただ、切り込みを入れた材は、明らかに割れやすいことはわかった。想定外の力を受けた場合、急激な破壊につながる可能性はある。

上の4プライの材の耐力荷重の計算結果を見ると、左の5プライのものより高い。これは、4プライは1本ずつの実験なので、低減要素となる、ばらつき係数をかけていないためだ。

(写真：本誌)



実験を担当したボラス暮し科学研究所の原田直希さん(左)と、野本浩平さん(右)

実験担当者の1人、同研究所構造グループ主任の原田直希さんに感想を聞いたところ、「集成材の試験結果はムク材に比べれば安定しており、扱いやすさを実感した。横架材との接合部など、柱の断面欠損部分に比べると、はく離部分の性能低下は限定的。そう思ったことがわかったのは成果だと思つ」と話していた。

## 実験の実施概要

今回の実験は、ボラス暮し科学研究所(埼玉県越谷市)の協力を得て実施した。曲げ実験の期間は、2005年11月28日から12月14日までの延べ11日間。また引っ張り実験は12月15日から20日までの延べ4日間。

# 建基法はクリアできるが 性能は確実に低下する

構造用集成材にはく離が見つかったとき、住宅会社はどう判断すべきか。今回の実験の監修を依頼した武蔵工業大学建築学科教授の大橋好光さんに、結果を踏まえた見解を聞いた。



武蔵工業大学教授  
の大橋好光さん  
(写真：本誌)

大橋さんは、曲げ実験結果のうち相当ヤング係数を重視している。柱の座屈は、この数値の影響を大きく受けるためだ。建築基準法は構造用集成材に対し、JAS規格を満たすことを求めている。今回、すべての試験体で、相当ヤング係数はJAS規格の下限値を上回った。試験体の座屈性能は、

建基法をクリアしていると推定できる。

大橋さんは、「通常時であれば、1層分のはく離は即時に倒壊するなどの大被害に直結する欠点ではないと考えてよいだろう」と話す。在来木造の柱は、最低限必要とされる本数より多くなるのが一般的だ。荷重が均等になるよう配置されていれば、弱い部分があっても、ほかの部分でそれを補う。ただし、設計によっては1本の柱に荷重が集中することもある。また、多くの柱にはく離が生じていけば、問題は大きくなる。「建築材料は基準値を超えていけばよいというものでもない。平均値で見ると、深さ1分の1、長さ90cmの切り込みを端部に入れた試験体

は、切り込みなしに比べて4割以上も性能が落ちた。基準を超えた構造の『余力』にあたる部分がなくなっていることになる。決して安心はできない」（大橋さん）

これが、深さ1分の1のような大きなはく離のある集成材の危険性だと考えてもよい。すぐに対処しなければ顧客に被害が及ぶ、というわけではないものの、健全な材よりも性能は落ちるという意味では、なるべく早めに交換や補強を行ったほうが無難だろう。

曲げ実験で、深さ2分の1のタイプでは、大幅な性能低下は見られなかった。大橋さんは、「半分程度つながっていれば、力がきちんと流れるためではないか」と推測する。

とはいえ、はく離が進行しないという保証はない。当初2分の1だったのはく離が1分の1になれば、確実に性能低下を招く。

## 金物への影響は 方向による違いはない

引っ張りの実験についても、ほぼ同様の見方ができるだろう。実験では、深さ1分の1の切り込みを入れた試験体でも、15kN用のホ

### Point はく離が発生した際の危険度

- ・通常使用時なら深さ2分の1程度のはく離があっても、危険ではないと考えられる
- ・深さ1分の1になると、構造上の余裕は減っている所以要注意
- ・柱脚部のはく離は金物の性能に影響する

ールダウン金物に求められる性能は満たした。ただし、はく離の深さに比例した低下傾向は明らかだ。大橋さんは、「はく離による性能低下が、ボルト穴とはく離面が並行か直交するかに関係なく起きた点は注目に値する」と指摘する。実験は、十分な試験体数を用いて実施したものの、今回の結果だけではく離集成材の性能を語り尽くすことはできないだろう。これをきっかけとして、研究が進められていくことを期待したい。