



あたらしい 林業技術

No.603

スギ中・大径木による新しい集成材
“積層接着合わせ梁”の開発

平成 26 年度

要 旨

1 技術、情報の内容及び特徴

- (1) 原料の幅広ひき板の乾燥は、天然乾燥 55 日＋人工乾燥 6 日で目標含水率 12%以下に仕上げられること、ひき板の積層接着性能は、接着剤塗布量、プレス機圧縮圧力など一般集成材と同条件で製造した場合に集成材 JAS の基準を満たすことが分かりました。
- (2) 同一機械等級のひき板構成、又は内層に機械等級が下位等級のひき板で構成した 2 層～4 層に積層接着した合わせ梁は、いずれのヤング率も原木や構成する幅広厚板のヤング率から推定できること、曲げ強度は集成材の基準材料強度を満たすことを明らかにしました。
- (3) 合わせ梁の実大曲げクリープ性能を把握するとともに、水掛り事故による強度性能の低減が無いこと、また、合わせ梁製造後 2 年経過時の曲がり、反りは、大半が集成材 JAS 基準を下回り、製造後の寸法安定性にも問題の無いことを明らかにしました。
- (4) 製造後のせん断強度と煮沸又は浸漬処理後のせん断強度は同等で、基準材料強度を満たすことを解明しました。
- (5) スギ積層接着合わせ梁の製品特徴、製造手法、各種性能及び木造住宅の梁部材として使用する際の指標となるスパン表で構成した普及用の資料を作成しました。
- (6) スギ合わせ梁は、共同研究企業で平成 24 年からモニター生産（生産量 100m³/年）が行われ、長期優良木造住宅で梁桁製品として県内や近県での利用が進んでいます。

2 技術、情報の適用効果

- (1) 製材工場でも、接着剤塗布装置とプレス装置を導入することにより品質・性能の確かな梁桁製品製造が行えます。また、水分量が高いスギ中・大径原木も原料として有効活用できるとともに、従来の集成材と同等以上の品質・性能を有する製品が生産できます。
- (2) 長期優良住宅や公共木造建築物等での外材から県産材への製品利用転換が促進することで、しずおか優良木材認定工場の増加や県産材の需要拡大が見込まれます。
- (3) 県内の成熟した林分における間伐等の促進が進むとともに、健全な森林づくりや林業・林産業の活性化に繋がるのが期待されます。

3 適用範囲

県内全域

4 普及上の留意点

- (1) 本格的な木造住宅等への利用・普及には JAS や“しずおか優良木材”として製品認証が必要です。また、更なる製造コスト削減や県内の製材工場等での本格生産と製品の安定供給や、木造住宅への利用促進に向けた取組を、行政施策等と連携して行う必要があります。
- (2) 合わせ梁は、現行の集成材 JAS では接着性能等の評価に適応してない点があること、強度性能（国土交通省の告示値）が実際と比べて過小に低い値になっている点があることから、今後それらに関連するデータや情報を整理して、JAS 改正に向けた働きかけが必要です。

目 次

| | |
|--|---|
| はじめに | 1 |
| 1 積層接着合わせ梁とは (製品の特徴) | 2 |
| 2 スギ積層接着合わせ梁の製造技術 | 3 |
| (1) ひき板の製材歩留まり | 3 |
| (2) ひき板を効率良く乾燥する手法 | 3 |
| (3) ひき板のグレーディング手法 | 4 |
| (4) 接着剤の塗布・圧縮 (接着性能) | 5 |
| (5) 仕上げ・製品検査 | 5 |
| 3 スギ積層接着合わせ梁の各種性能 | 5 |
| (1) 曲げ性能 | 5 |
| (2) クリープ性能 | 6 |
| (4) 製造後の形状安定性 (曲がり、反り) | 6 |
| 4 スギ積層接着合わせ梁を住宅の横架材として活用に向けて (スパン表の活用) | 7 |
| 5 おわりに (今後の課題と対応) | 8 |
| 参考文献 | 8 |

はじめに

静岡県では、経済産業ビジョンにおいて県産材の需要と供給の一体的な創造を掲げ、「しずおか木使い県民運動」等により県産材を使う意義や良さを県民に普及啓発するなど、県産材の需要拡大に取り組んでいます。一方、静岡県のスギ・ヒノキ人工造林は、他県よりも約 10 年早く始まり、10 齢級（林齢 46 年生）以上の林分が 70% を占めるなど成熟期を迎えていることから、今後それらの森林から中・大径材の生産増が見込まれます。木造住宅用の梁桁など主要な建築用材の原料として、量的に十分に供給できる状況である上、静岡県産のスギは、材質や強度が全国と比べて優れているという特徴・利点があり、中・大径材から梁桁など大断面の建築材の生産増が期待できます。

しかし、現状では、国（県）産材は外材と比べ、製品の生産効率化・安定供給や、原料特性を活かし品質・性能向上が図られた新たな製品等の開発が不十分であるなど、建築・消費者側ニーズへの対応が遅れています。このため、木造建築用材に占める県産材の使用比率は低位な状況にあり、特に、木造建築に使用される部材で材積割合が高い梁・桁では 93% と外材の使用比率が極めて高い状況にあります（図 1）。県内の住宅メーカー・工務店でも、高い強度が求められる木造住宅の梁桁用部材へのスギ等の県産材使用率は 5% と低く、北米産のベイマツ製材（54%）や欧州産輸入集成材（42%）が使用されています。近年では、特に、プレカット加工過程での不良率削減と施主からのクレーム回避の観点から、無垢製材よりも集成材の使用率が高くなっています。これは、集成材が無垢製材と比べて、乾燥性能や寸法安定性等の信頼性が高いことが主因と思われます。

これまで、木造住宅の梁桁部材にスギ材の利用が進まなかった主要因として、①原料となる中・大径原木が少なかったこと、②外材のベイマツや輸入集成材と比べて、特に、強度が不明確、乾燥が難しいなど、製品の品質・性能面で、プレカット加工側、設計・施工者側に懸念のあったことが挙げられます。このため、今後、梁桁部材へのスギの利用を促進するには、強度と乾燥など信頼性の高い製品を製造する必要があります。梁桁部材など木材製品の強度と乾燥の性能は、原木の材質が大きく影響します。スギは、外材のベイマツや国産のヒノキなどと比べて、原木の強度（ヤング率）や含水率（水分量）のばらつきが大きなことが知られています（図 2）。このため、スギ無垢平角材の梁・桁を製造する場合、割れや狂いの発生により製品歩留まりが悪くなる問題点があります。特に、高含水率の原木から製材した無垢平角材は、乾燥に多くのエネルギーを要するとともに、材内部を均一に乾燥することが極めて困難です。

このため、森林・林業研究センターでは、新成

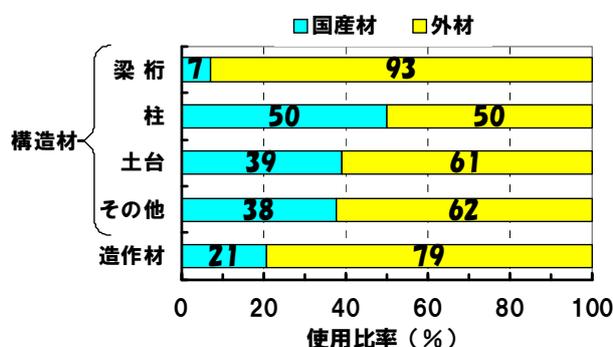


図 1 木造住宅部材別の国産材と外材の使用比率

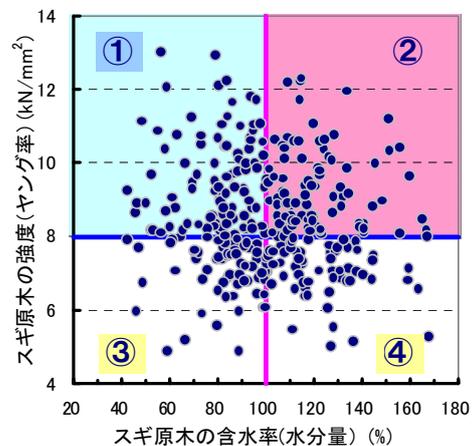


図 2 スギ原木の含水率(水分量)と強度(ヤング率)

長戦略研究「木造建築用材を外材から県産材に転換する製品創出技術の開発：平成 23～25 年」において、原木段階で強度が高いものを選別後、含水率（水分量）の低いもので平角製材梁を含水率の高いもので積層接着した梁を製造するなど、原木の材質評価・製品用途選別により製材と乾燥のコスト低減、不良材の抑制で製品歩留まり向上が図れる技術や、品質・性能の確かな新たな梁桁用製品の開発を行いました。

本稿では、それらの研究成果として、新たに開発した集成材「積層接着合わせ梁（以下、合わせ梁）」について報告します。

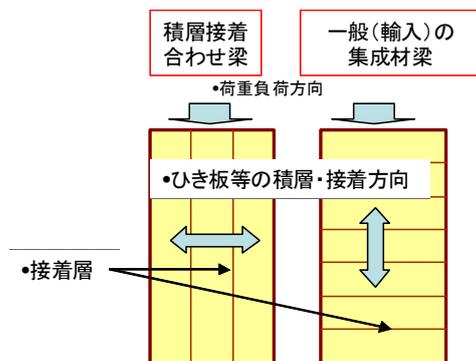
1 積層接着合わせ梁とは（製品の特徴）

積層接着合わせ梁は、中・大径原木から製材したひき板を、材内部まで所定の含水率に乾燥した後、プレナー等で厚 30～60mm、幅 180～390mm に仕上げ、それら板 2～4 枚を従来（輸入）の集成材と異なる方向に積層・接着した、木造住宅等の梁桁部材として利用できる新しい構造材です（図 3）。

積層接着合わせ梁は、現行の集成材 JAS に適合する規格（同一等級構成と異等級対称構成）があります。このため、JAS 工場認証を取得することで、積層接着合わせ梁を JAS 集成材製品として製造・販売することができます。しかし、これまで原料となる幅広ひき板を歩留まり良く採材できる国産針葉樹の中大径の原木が少なかったことから、企業での製品化は行われていませんでした。

以下に、積層接着合わせ梁の特徴を記します。

- ① 今後、供給増が予想される中・大径原木から、歩留まり良く採材できる幅広板を原料とし、特に、高含水率の原木でも品質・性能の確かな製品が製造できるなど、原木の材質を選ばずに製造できます。
- ② ヤング率により機械等級区分したひき板を組み合わせることで、製造する合わせ梁の強度性能を調整することが可能です。3～4 枚積層した材では、内側に節等が多いひき板を、外側にそれらが少なく意匠性の優れた板を用いることで、製品の歩留まりを高めることが可能です。
- ③ 乾燥した幅広厚板は、幅が 30mm や 45mm のサイズによってそれ自体が、間柱・胴縁等の製品として転用が行えます。
- ④ 一般の集成材と比べて、接着面（接着剤使用量）が少なく、縦継ぎをしないなど製造工程が短く、特に化粧梁（見掛かり材）として使用する際には、質感（見た目：意匠性）も無垢材に近いことが特徴です。



| 梁・桁用製品 断面寸法 120×240mmの例 | 積層接着 合わせ梁 | 一般 (輸入)の 集成材梁 |
|-------------------------------|--------------|---------------------|
| 原料 | 中・大径木 ひき板 | 小径木 ひき板 |
| 原料の使用枚数 | 2～4 | 8 |
| 原料の厚さ | 3～6cm | 3cm |
| 原料の乾燥性 | ○ | ◎ |
| 接着等の製造効率 | ◎ | ○ |
| 製品の強度調整 | ○ | ◎ |
| 製品の意匠性 | ◎ | ○ |

図 3 積層接着合わせ梁と一般（輸入）の集成材梁の違い

2 積層接着合わせ梁の製造技術

積層接着合わせ梁（以下、合わせ梁）の主な製造工程は、ひき板の製材、乾燥、積層接着、圧縮、仕上げ加工と従来の集成材とほぼ同じです（図4）。異なる点は、ひき板の幅が広いいため材面の節等の部分を切除した後に縦継ぎ（フィンガージョイント等による）の加工が不要なことです。

また、合わせ梁の製造上の特徴として、ひき板の積層枚数が少ないため、集成材と比べて接着面積（接着剤の使用量）の少ないことが挙げられます。例えば、120mm×240mm×4mの製品で比較すると、従来の集成材の接着面積は3.5m²であるのに対し、合わせ梁ではその54%の2.0m²です。



図4 積層接着合わせ梁の製造工程

(1) 原木からの幅広ひき板の木取り（製材歩留まり）

原木の形状や品質に応じて、材積歩留まりや価値歩留まりを高める幅広ひき板の木取りが必要です。幅広ひき板の仕上がり厚さは、原木から主材である柱を製材した残部から製材する場合には、間柱、造作材への利用も可能な30mm又は45mmとします。一方、原木の材積歩留まりを重視する場合、原木より同厚の40mm又は30mmの幅広ひき板を製材します。実際に原木末口径16~30cmから幅広ひき板を製材した場合の歩留まり（主材のみ）を調査した結果では（図5）、末口径28cm以上で40%を上回ることが分かりました。

また、原木から木取りする際の荒挽き寸法は、乾燥による収縮や狂いの発生、ひき板の接着時や接着後の材面平滑仕上げを行うプレーナーやモルダー処理による部減りにより、厚さ方向では約15mm、幅では約10mm程度、仕上がり寸法に対して大きく製材する必要があることが分かりました。

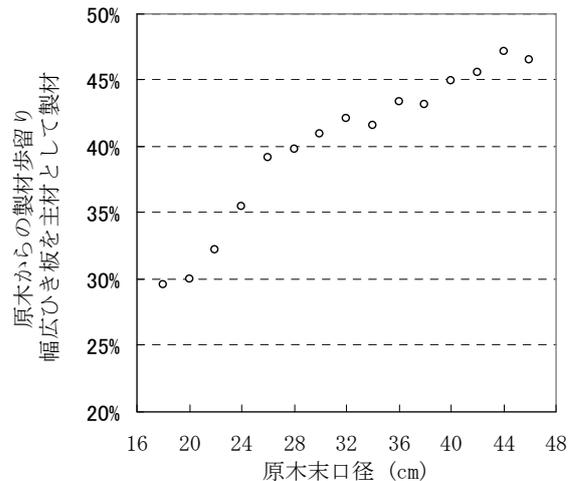


図5 原木末口径別の幅広ひき板の製材歩留まり

(2) 幅広ひき板の効率的な乾燥手法

県産スギ原木（高含水率材を含む）から製材した幅広ひき板について、低コストでかつ効率良く乾燥する技術を確認するため、天然乾燥と人工乾燥を組み合わせる手法解明に取り組みました。

スギ原木末口径に応じて、幅200~320mmの幅広ひき板を3枚（厚さ45、30、45mm（粗

挽き寸法 50、35、50 mm) を屋根下に棧積みして天然乾燥を行い、重量減少率で 30%前後を目標としました。その後、蒸気式乾燥機を用いて乾球温度 80~95℃、相対湿度 84~57%、合計 147 時間 (6.1 日) のスケジュールで人工乾燥試験を行いました (表 1)。乾燥末期に、調湿処理 (乾球温度 88℃、相対湿度 76%、平衡含水率 9%) を行い、個体間の乾燥仕上がり程度の均質化を図りました。幅広ひき板の乾燥により含水率の平均値は、製材直後で 79%であったものが、天然乾燥 (55 日) により 19%まで低下し、人工乾燥後には 10%以下になりました。また、全ての試験体で含水率が 15%以下に、うち 93%は目標含水率である 12%以下になり (図 6)、合わせ梁原料として適した乾燥性能に仕上げられることが分かりました。

表 1 スギ幅広厚板の天然乾燥後の人工乾燥スケジュール

| 乾球温度 (°C) | 湿球温度 (°C) | 乾球湿球 温度差 (°C) | 相対湿度 (%) | 平衡含水 率 (%) | 乾燥時間 (時間) |
|--------------|--------------|---------------------|-------------|------------------|--------------|
| 85 | 85 | 0 | 100 | - | 3 |
| 80 | 76 | 4 | 84 | 13 | 12 |
| 82 | 76 | 6 | 77 | 10 | 12 |
| 85 | 77 | 8 | 71 | 9 | 12 |
| 88 | 78 | 10 | 66 | 8 | 18 |
| 89 | 78 | 11 | 61 | 7 | 18 |
| 93 | 80 | 13 | 59 | 6 | 24 |
| 95 | 81 | 14 | 57 | 6 | 24 |
| 95 | 88 | 7 | 76 | 9 | 24 |
| | | | | | 147 |

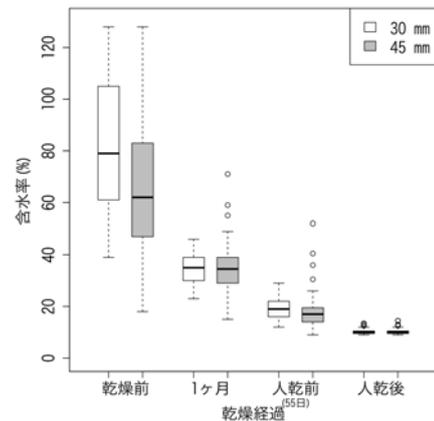


図 6 スギ幅広ひき板の乾燥に伴う含水率 (高周波容量式含水率計) 変動

(3) 幅広ひき板のグレーディング (等級区分方法)

構造用集成材は、グレーディングマシンを用いてヤング率を評価・等級区分したひき板を原料とします。同一等級構成では、例えば 3 層で E75-F255 (E はヤング率、F は曲げ強度を示します) の強度等級を製造する場合、機械等級では L80 (ヤング率: 8kN/mm²)、目視等級では 1 等以上のひき板を使用します (表 2)。そこで、合わせ梁原料として積層方向や断面形状が異なる幅広ひき板のヤング率を評価や製造する強度等級の製品製造を行う際に、集成材ひき板用グレーディングマシンが利用できるのか検討しました。



図 7 グレーディングマシン (荷重載荷式)

表 2 JAS同一等級構成集成材に使用するひき板の等級

| ひき板の等級 | | ヤング率 (kN/mm ²) | 同一等級構成集成材の強度等級 | | |
|--------|------|-------------------------------|----------------|-----------------|----------|
| 目視等級 | 機械等級 | | 2層 | 3層 | 4層 |
| 1等 | L90 | 9 | E85-F255 | E85-F270 | E85-F300 |
| 2等 | L80 | 8 | E75-F240 | E75-F255 | E75-F270 |
| 3等 | L70 | 7 | E65-F225 | E65-F240 | E65-F255 |

幅広ひき板 (厚 40~70mm、幅 195~315mm) 300 枚のヤング率をグレーディングマシン (荷重載荷式、縦振動式) で計測し、2 層~4 層に積層した幅広ひき板のヤング率平均値と、それらひき板から製造した合わせ梁のヤング率を実大曲げ試験により調べました。その際、3 層の合わせ梁では荷重の負荷方向を違えた場合についても調べました。その結果、両者間に高い相関関係が認められ、合わせ梁ヤング率は、それらを構成する幅広ひき板をグレーディングマシンで計測したヤング率の平均値から精度良く推定できることが分かりました。また、

幅広ひき板のヤング率は、グレーディングマシンでは縦振動式による荷重載荷式と比べて、厚さが 45mm、60mm では低く評価されることから、補正係数による調整が必要であることも分かりました。

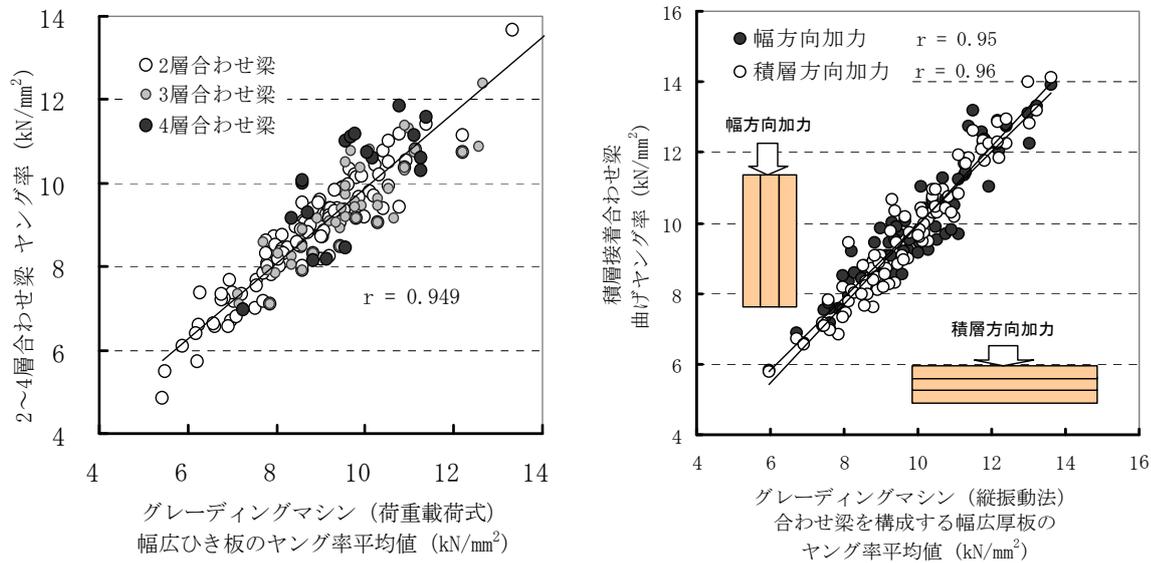


図8 合わせ梁のヤング率と合わせ梁を構成するひき板のヤング率平均値との関係

(4) 幅広ひき板の積層接着技術（合わせ梁の接着性能とせん断性能）

一般の構造用集成材の製造に使用されている、レゾルシノール樹脂又は高分子イソシアネート樹脂の接着剤を用いて、塗布量 200~250g/m²、プレス圧縮圧力 2.5~3kgf/cm²以上、閉鎖堆積時間 40 分、圧縮時間と温度を 10℃で 24 時間以上又は 20℃以上で 4 時間として、3 層の合わせ梁を試作しました。それらの接着性能（浸漬はく離試験、煮沸はく離試験、ブロックせん断試験）を JAS 集成材に準じて評価しました。その結果、浸漬、煮沸処理による接着層のはく離は何れの試験体ともに皆無であり、ブロックせん断試験でも基準値を上回りました。

一方、合わせ梁の接着層付近にはせん断力が作用することから、常態時と接着性能（浸漬はく離、煮沸はく離）評価後の試験体について、実大いす型せん断試験でせん断性能を調べました。その結果、せん断強さは、常態時と煮沸後又は浸漬後との明確な差異がみられず、いずれも、国土交通省告示の集成材のせん断基準強度以上を有していることが分かりました。

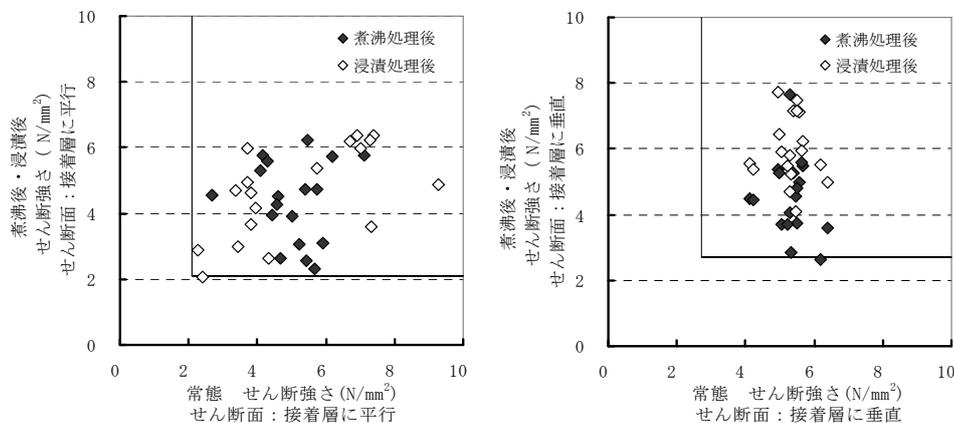


図9 実大いす型せん断試験による合わせ梁のせん断性能

3 スギ積層接着合わせ梁の各種性能の解明

(1) 曲げ性能

ひき板積層数が2層、3層、4層の同一等級構成のスギ合わせ梁 20 体の実大曲げ試験を行った結果、各試験体ともに JAS 集成材等級に対して国土交通省告示による基準材料強度を上回ることが確認されました (図 10 : 左図)。なお、現行の基準材料強度はひき板の積層数が異なる場合、同じヤング率の2層に対して4層の基準材料強度が大きく規定されていますが、本試験結果では積層数の違いによる曲げ強度の差は認められませんでした (図 10 : 右図)。

3層合わせ梁で外層2枚に用いた幅広ひき板の機械等級 (ヤング率) より下位等級のひき板を用いた異等級対称構成の合わせ梁を製造し、幅方向加力による実大曲げ試験を行った結果でも、基準材料強度を十分上回るとともに、より基準材料強度の大きな積層方向についても上回ることが分かりました。

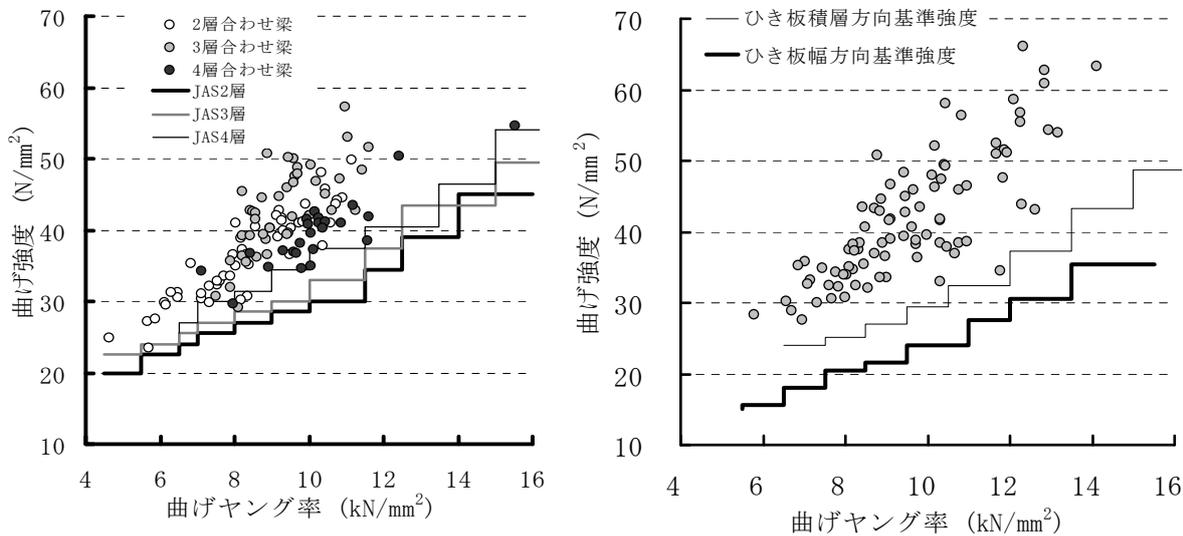


図10 スギ合わせ梁の実大曲げ試験による曲げ性能 (左:同一等級構成、右:異等級対称構成)

(2) クリープ性能

梁桁に積載荷重等が長期間負荷された場合に、時間経過とともに梁桁のたわみ (変位) が増加するクリープが生じます。集成材では既往の実験から相対クリープ (建設省告示第 1495 号の変形増大係数) を 2 としています。そこで、合わせ梁の相対クリープを調べるため、3層合わせ梁 2 試験体について 2 年間、実大クリープ試験を行いました。

合わせ梁の相対クリープ (初期たわみに対するその後のたわみの比) は、含水率 20% の試験体 2 では大きく、負荷後 2 年経過時でもクリープ変位が増加していますが、含水率 12% の試験体 1 では荷重負荷後約半年で安定し、その後は温湿度の変化に伴いたわみが増減する変形がみられます (図 11)。2 年間のデータから、10~50 年後におけるクリープたわみの予測値と相対クリープを求めました (表 3)。相対クリープは、試験体 1 が 2.0、試験体 2 が 1.7 となり、集成材の 2 と同値であることが分かりました。



表3 クリープ変位と相対クリープ

| | | No1 | No2 |
|-------------|------|------|------|
| クリープ変位 (mm) | 10年後 | 11.2 | 21.6 |
| | 20年後 | 11.7 | 23.5 |
| | 50年後 | 12.5 | 26.9 |
| 相対クリープ | 10年後 | 1.4 | 1.7 |
| | 20年後 | 1.4 | 1.8 |
| | 50年後 | 1.5 | 2.0 |

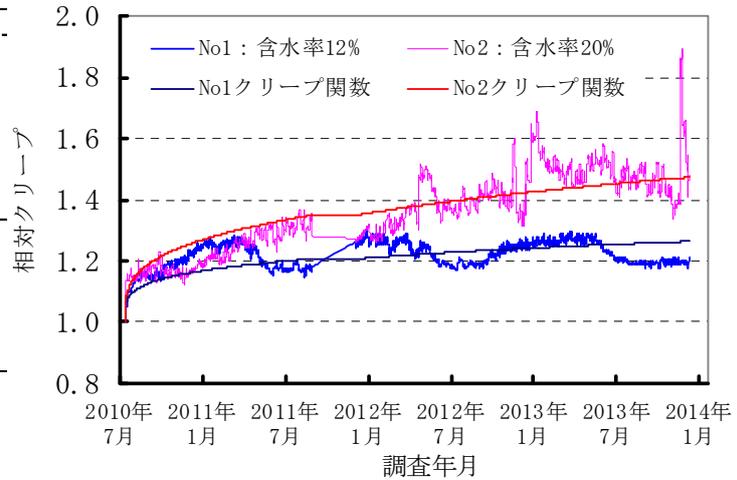


図 1 1 スギ3層合わせ梁の実大クリープ試験の様子と相対クリープ

(3) 積層接着合わせ梁の形状安定性 (曲がり、そり)

合わせ梁の製造後における形状安定性を評価するため、製造後2年経過時の曲がり・反りを調べました。その結果、合わせ梁の梁背の違いでの差異がみられず、大半が集成材 JAS 基準の 1 mm/長 1 m を下回っていることが分かりました (図 12)。

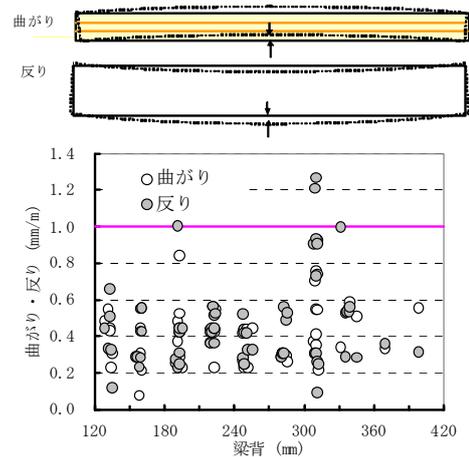


図 12 製造後 2 年経過時の 3 層合わせ梁の曲がりと反り

4 スギ積層接着合わせ梁を住宅の横架材として活用に向けて (スパン表の活用)

合わせ梁の普及に向けて、製造手法と各種性能及び木造住宅の梁部材として使用する際に必要な断面寸法を明示したスパン早見表により構成した普及用ガイドと製品特徴等を分かりやすく解説したリーフレットを作成しました (図 13)。



表 4 スギ積層接着合わせ梁 (3層同一等級構成) の梁架スパン表 (床小梁の例)

| 床小梁スパン [mm] | 床小梁間隔 [mm] | 材料等級・材せい [mm] | | | | | | | |
|-------------|------------|---------------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|-----------|
| | | 材幅 105mm | | | | 材幅 120mm | | | |
| | | 3層同一等級 | | 異等級対称 | | 3層同一等級構成 | | 異等級対称 | |
| | | E65-F240 | E75-F255 | E85-F270 | E105-F300 | E65-F240 | E75-F255 | E85-F270 | E105-F300 |
| 1820 | 910 | 105 | 105 | 105 | 105 | 120 | 120 | 120 | 120 |
| | 1820 | 150 | 150 | 120 | 120 | 150 | 120 | 120 | 120 |
| | 2730 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 |
| 2730 | 910 | 180 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 |
| | 1820 | 210 | 210 | 180 | 180 | 210 | 180 | 180 | 180 |
| | 2730 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 210 | 210 | 210 |
| 3640 | 910 | 210 | 210 | 210 | 180 | 210 | 210 | 180 | 180 |
| | 1820 | 270 | 270 | 240 | 240 | 270 | 240 | 240 | 210 |
| | 2730 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 270 | 270 | 270 |
| 4550 | 910 | 270 | 270 | 240 | 240 | 270 | 240 | 240 | 210 |
| | 1820 | 330 | 330 | 300 | 300 | 330 | 300 | 300 | 270 |
| | 2730 | 390 | 390 | 390 | 390 | 360 | 360 | 330 | 330 |

異等級対称: E105-F300の材背より 30mm増し 60mm増し

図 13 スギ合わせ梁の木造住宅梁桁利用に向けて作成した普及用ガイド

5 今後の課題と対応 （おわりに）

積層接着合わせ梁は、共同研究した企業先のモニター生産から、今後は行政施策などと連携して、JAS 製品として県内工場等での本格生産と製品の安定供給に向けた取組や、木造住宅の梁桁部材として利用を促進する上で必要な技術開発等を行います。県産梁桁製品の利用促進を、行政・業界団体・共同研究企業と連携して進めます。原木供給側に対して、搬出・流通コスト削減を図る取組を進め、「しずおか優良木材」など県産材梁桁製品の原料として量と質の両面での原木安定供給を図る必要があります。また、木材加工側に対して、品質・性能の確かな「しずおか優良木材」や JAS 製品を効率良く製造し供給する取組を、更に、木造住宅に関連する流通業者、プレカット加工業、設計・施工者に対して、梁桁部材を外材から県産材製品への利用転換に向けた取組を、それぞれ関連する行政施策と連携して働きかけていきます。

参考文献

- 1) 日本建築学会：木質構造設計規準・同解説, 352pp, (2003)
- 2) 日本農林規格：構造用集成材の JAS
- 3) 大熊幹章：木材工業, 67(1), 23-26 (2012)
- 4) 井道裕史：木材工業, 69(1), 40-43 (2014)
- 5) 木構造振興：木材の強度等データおよび解説, 152pp, (2011)

農林技術研究所森林・林業研究センター 木材林産科
池田潔彦（文責） 星川健史 渡井 純

発行年月：平成27年3月
編集発行：静岡県経済産業部振興局研究調整課

〒420-8601
静岡市葵区追手町9番6号
TEL 054-221-2676

この情報は下記のホームページからご覧になれます。
<http://www.pref.shizuoka.jp/sangyou/sa-130a/>

