

県産材を有効利用するために

構造用集成材の 効率的な生産管理技術



山梨県森林総合研究所

はじめに

近年、建築基準法の改正や住宅の品質確保促進法の施行などにより、構造安全性など品質の確かな木造建築物を供給することが求められるなど、住宅供給者の責任が明確化されたことから、県産材の強度等の品質に対するニーズが高まっています。

また、「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」(平成22年 法律第36号)の制定を受け、「木造計画・設計基準」(平成23年 国土交通省大臣官房官庁営繕部)が策定されました。これによると、建築構造の設計に当たり、構造用集成材は、日本農林規格(JAS)に適合するものを使用することと規定されています。このため、公共建築物等への県産材の利用を推進するには、JAS 認定工場から JAS 製品を安定的に供給する必要があります。

一方、県産木材を有効利用するために必要となる強度についての基礎データは、充分とは言えません。

そこで、品質の安定した構造用集成材を供給するため、

- I 最適配合比や接着不良条件の把握など接着管理
- II モデル集成材から予想されるはく離率やブロックせん断強さなど接着性能
- III ラミナのヤング係数分布や製造可能な製品の推定強度等級など効率的な生産計画

について、分かりやすく解説した資料を作成しました。

I 接着管理

作成に当たっての留意事項

供試材料:山梨県産のカラマツラミナ、高温による標準的なスケジュール(90℃-60℃)で乾燥。

接着剤:水性高分子-イソシアネート系樹脂接着剤。

接着試験:クロスラップ試験体の引張り試験及び二重片持梁のモード I 破壊靱性試験による評価。ダンベル型試験体の接着剤フィルム引張り試験。

接着条件の最適化:接着剤の最適な配合比を決定するため、様々な配合比の接着剤を用いて、吸水・煮沸処理が接着強さに及ぼす影響を調査。標準配合比前後の接着剤を用いて、吸湿処理及び養生温度が接着強さに及ぼす影響を調査。

接着不良の発生機構の解明:接着不良の発生しやすい条件を見つけるため、主剤と架橋剤の標準配合比以下の接着剤を用いて、配合比、硬化温度及び養生時間が接着強さに及ぼす影響を調査。

主剤と架橋剤の配合比を最適化する

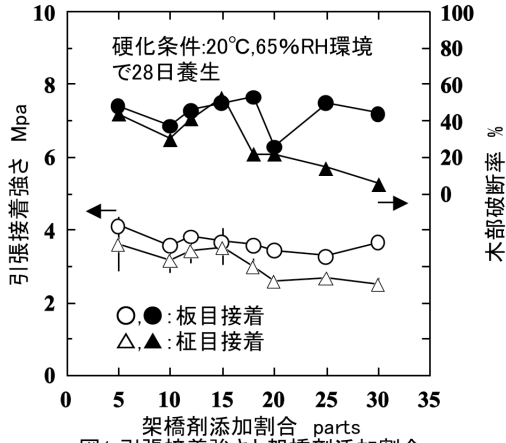


図1 引張接着強さと架橋剤添加割合

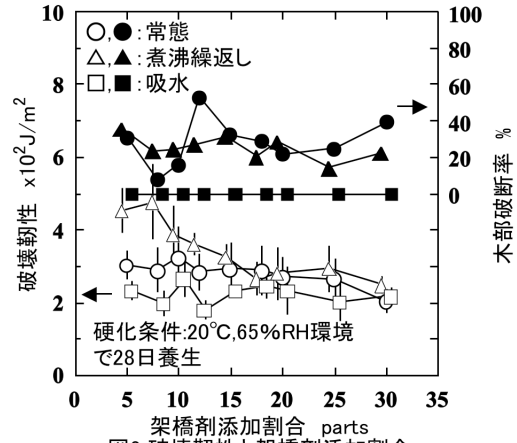


図2 破壊靱性と架橋剤添加割合

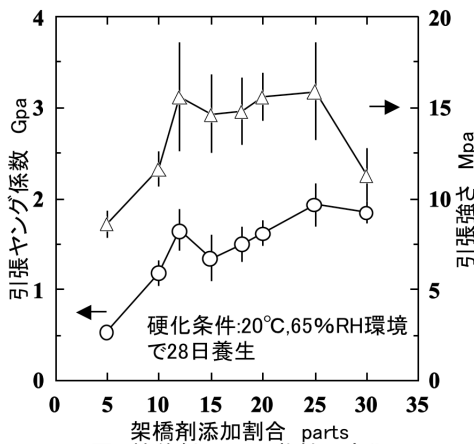


図3 接着剤フィルム物性の変化

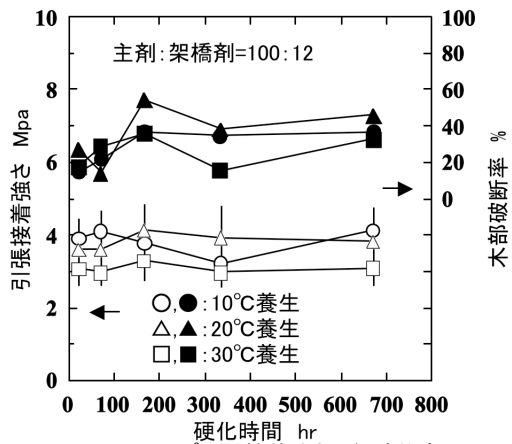


図4 クロスラップ引張接着強さの経時的変化

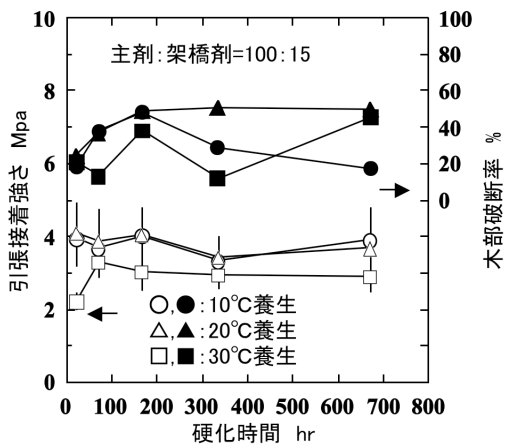


図5 クロスラップ引張接着強さの経時的変化

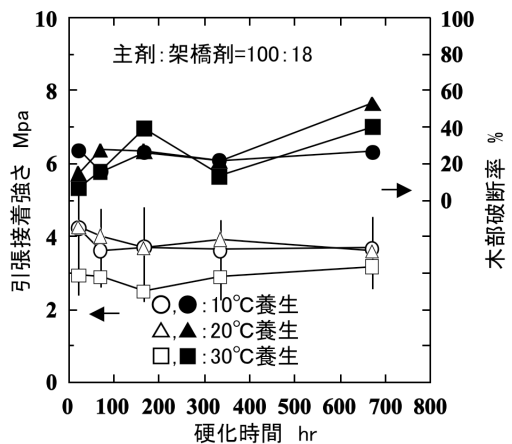
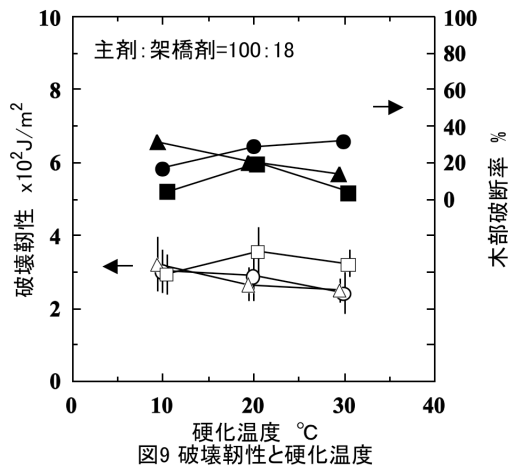
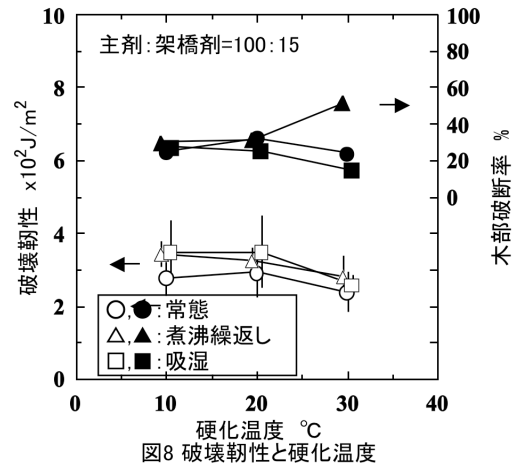
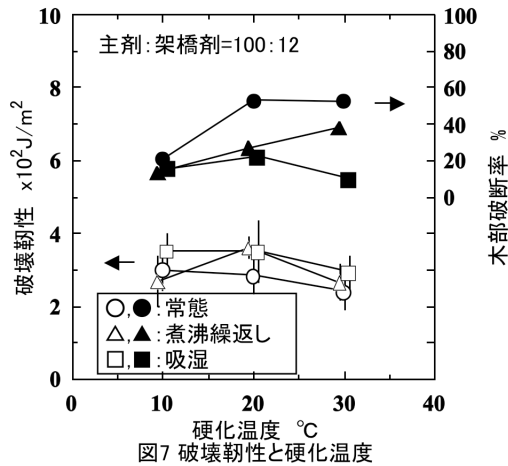


図6 クロスラップ接着強さの経時的変化



カラマツ材に対する接着性能を詳細に把握するため、いくつかの異なる配合比の接着剤を用い、2通りの接着試験を行いました。その結果、引張接着強さで評価した場合は、添加量の影響が判然としないのに対して、破壊靱性で評価した場合には、添加量に依存する傾向が明確になり、15部程度で最大値を有することが明らかになりました。接着強さは煮沸処理後も安定していますが、吸水状態では木破率の低下が著しいです。また、接着剤フィルムの引張試験の結果、配合比の高い領域では、フィルムの柔軟性が低いことが分かりました。

接着剤の最適な配合比を決定するため、標準配合比(100:15)前後の接着剤を用いて、2通りの接着試験を行いました。接着剤ごとに引張接着強さ及び破壊靱性について、常態に加え吸湿による低下及び養生温度による差異などを総合的に評価した結果、主剤と架橋剤の配合比は100:15が最適であると判断されました。この結果は、接着面を変えた試験体で測定しても同様でした。

接着性能が低い原因を簡易に判定する

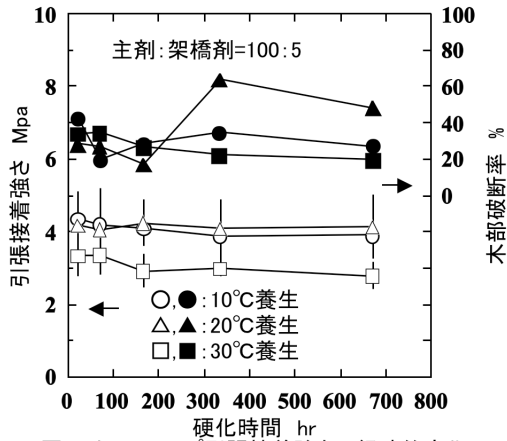


図14 クロススラブ引張接着強さの経時的変化

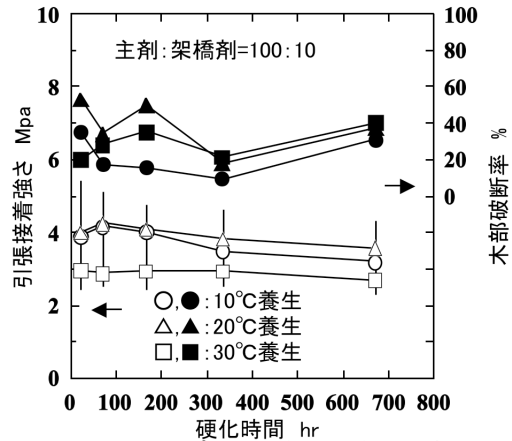


図15 クロススラブ引張接着強さの経時的変化

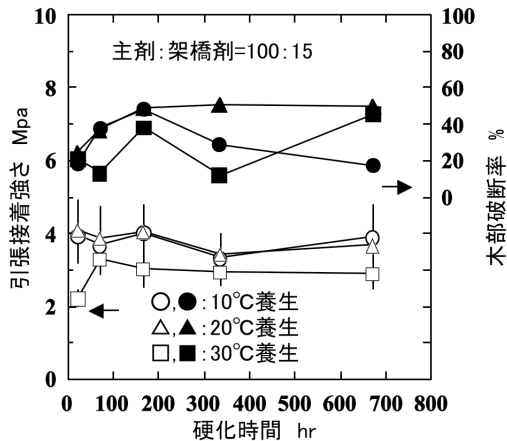


図16 クロススラブ引張接着強さの経時的変化

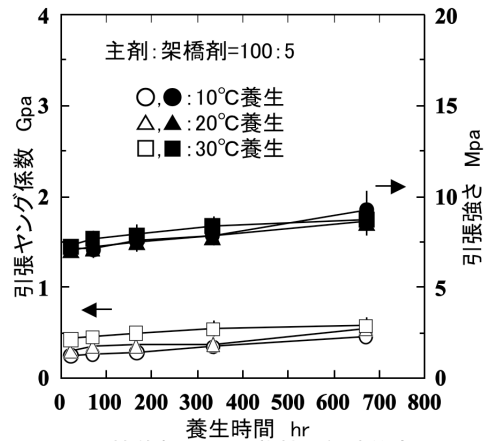


図17 接着剤フィルム物性の経時的変化

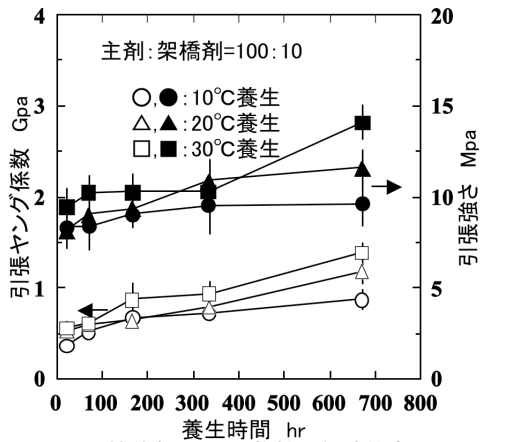


図18 接着剤フィルム物性の経時的変化

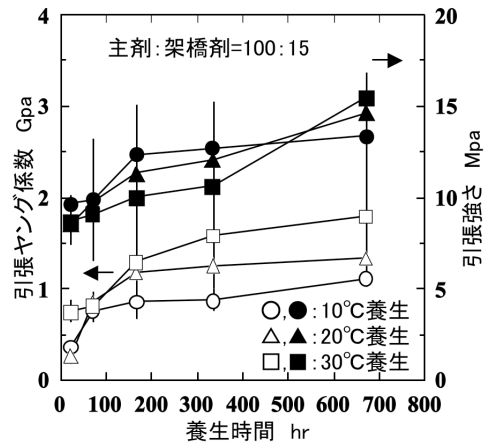


図19 接着剤フィルム物性の経時的変化

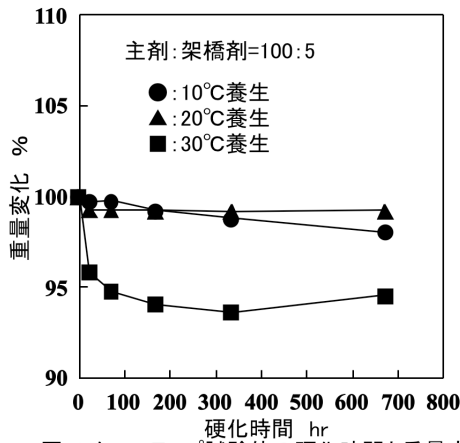


図20 クロスラップ試験体の硬化時間と重量変化

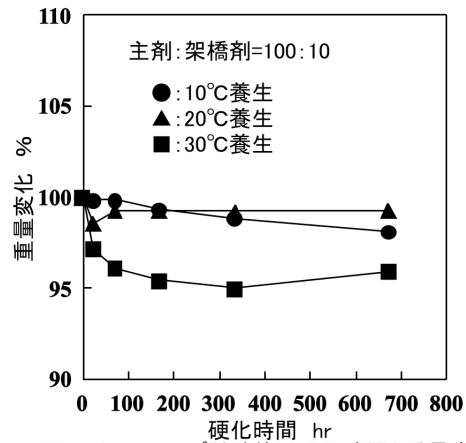


図21 クロスラップ試験体の硬化時間と重量変化

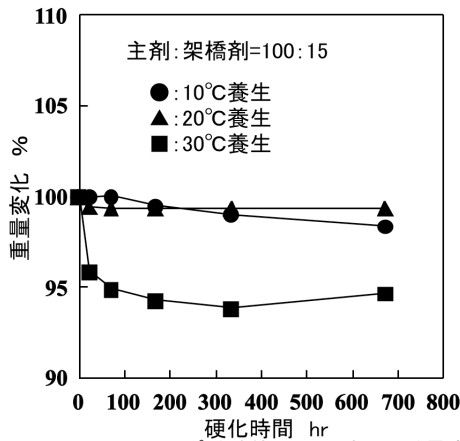


図22 クロスラップ試験体の硬化時間と重量変化

接着性能に影響する因子を複数組み合わせ剥離しやすいように調製したモデル試験体を作製し、接着不良の発生機構を解明しました。

水性高分子イソシアネート系樹脂接着剤の使用において、接着不良が発生しやすい条件を見つけるため、主剤と硬化剤の標準配合比(100:15)以下の接着剤を用い、配合比、硬化温度及び養生時間の相違が接着強さにどのような影響を与えるか調べました。その結果、30°C雰囲気での硬化させた場合や、温度に関わらず養生時間の少ない領域では、接着強さが低くなることが明らかになりました。また、接着剤の物性をフィルムの引張試験で検討した結果、測定期間内には接着剤フィルムの物性値にピークが現れませんでした。反応が完了するには、さらに時間を要するものと考えられます。

Ⅱ 接着性能

作成に当たっての留意事項

供試材料:山梨県産のカラマツラミナ、スギラミナ(13x3.5x400cm)。高温による標準的なスケジュール(90℃-60℃)で乾燥。

材質調査:構造用集成材規格の等級区分機によるラミナの品質基準に従い、材の両端部の節相当径比を判定。

ヤング係数の測定:MSRラミナに準じた方法で測定。中央集中荷重方式によりスパン 1,200mm に対し 6cm ピッチで 40 箇所を測定。

機械等級区分:構造用集成材規格の等級区分機によるラミナの強度性能基準に従い、ヤング係数の平均値に応じ等級区分。

モデル集成材:水性高分子-イソシアネート系樹脂接着剤を用いて、3タイプを作製。

- ・特定対称異等級構成集成材(=スギーカラマツ異樹種構成集成材)
- ・スギ異等級構成集成材
- ・スギ同一等級構成集成材

接着の程度:構造用集成材規格の浸漬はく離試験、煮沸はく離試験及びブロックせん断強さによる評価。

モデル集成材の構成

■ 特定対称異等級構成集成材

ME105-F300	ME105-F300	ME95-F275	ME95-F275	ME85-F255	ME85-F255
L140	L140	L125	L125	L110	L110
L100	L100	L90	L90	L80	L80
L40	L30	L40	L30	L40	L30
L40	L30	L40	L30	L40	L30
L40	L30	L40	L30	L40	L30
L40	L30	L40	L30	L40	L30
L100	L100	L90	L90	L80	L80
L140	L140	L125	L125	L110	L110

■ 対称異等級構成集成材

E65-F220	E55-F200
L80	L70
L60	L50
L40	L30
L40	L30
L40	L30
L40	L30
L40	L30
L60	L50
L80	L70

■ 同一等級構成集成材

E55-F225	E55-F225	E55-F200
L60	L60	L60
L60	L60	L60
L60	L60	
L60		
L60		

*樹種
カラマツ スギ

■ 8層同一等級構成集成材

カラマツ: E105-F345、E120-F375、スギ: E65-F255、E75-F270

* スギミナのL30、L40、L50等級は他県産を使用

接着性能

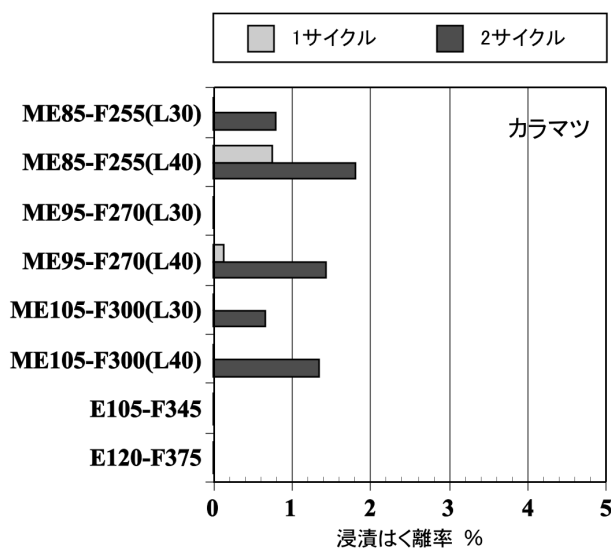


図1 浸漬はく離試験の結果

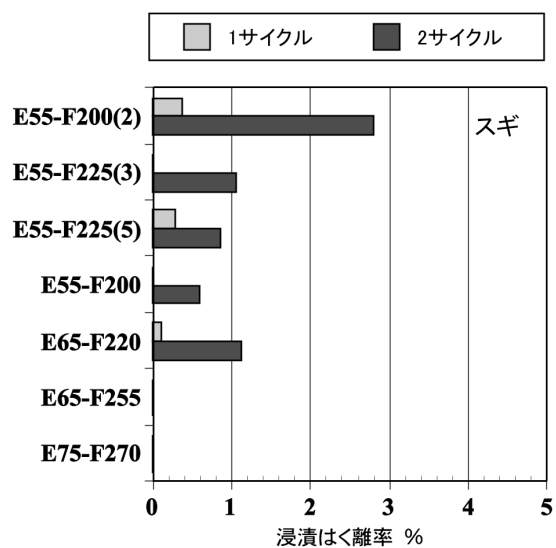


図2 浸漬はく離試験の結果

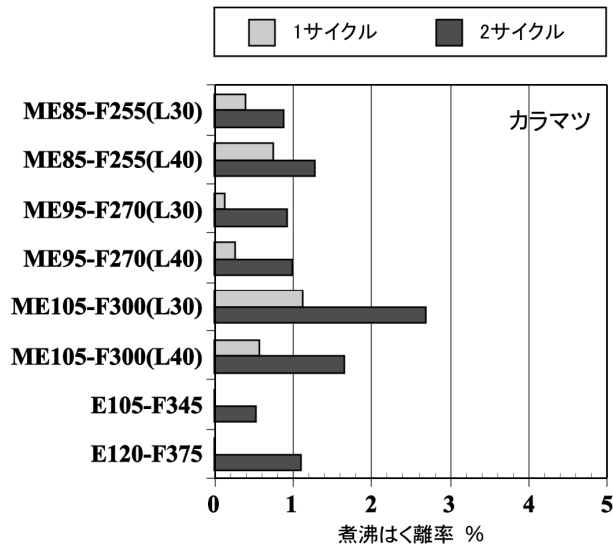


図3 煮沸はく離試験の結果

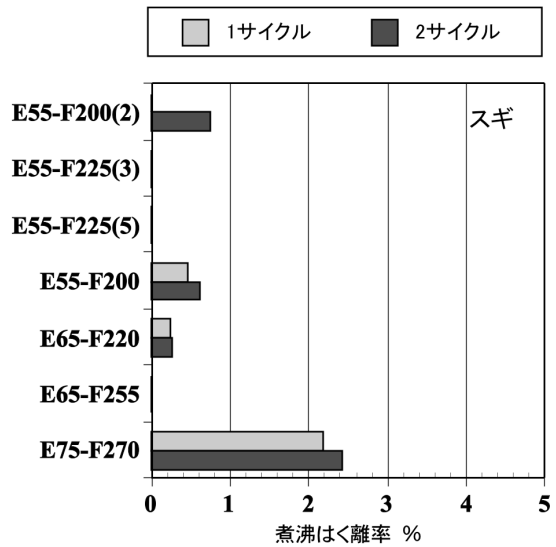


図4 煮沸はく離試験の結果

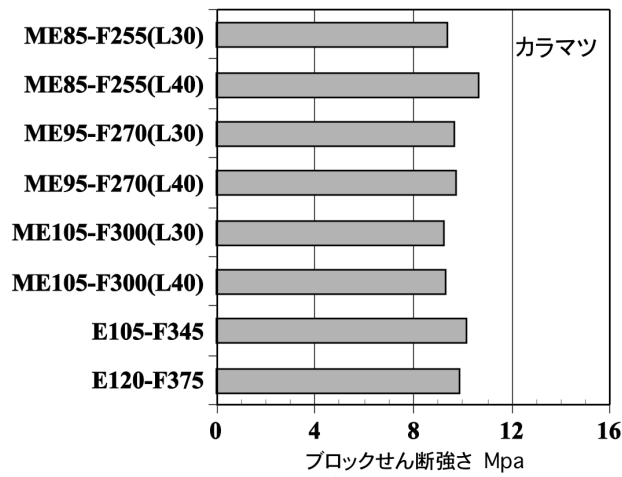


図5 ブロックせん断試験の結果

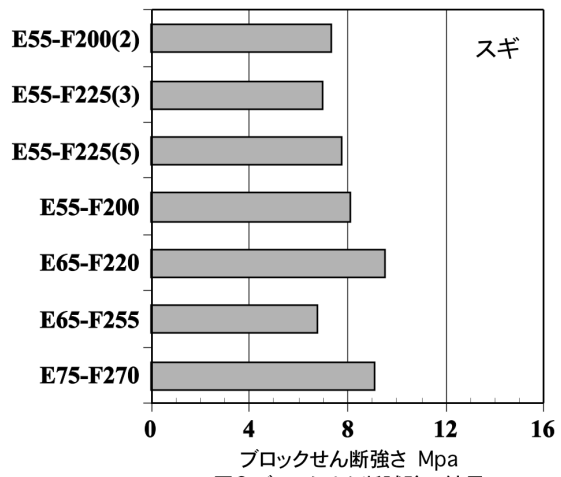


図6 ブロックせん断試験の結果

各種はく離試験の結果、すべての試験体において、両木口面におけるはく離率は5%以下、また、同一接着層におけるはく離長さの合計はそれぞれの長さの4分の1(25%)以下であり、適合基準を満足しました。さらに2サイクル終了後でも同様の結果であり、最も厳しい使用環境にも適合する性能を有していました。

ブロックせん断試験により常態接着強さを評価した結果、すべての集材モデルにおいて、せん断強さの平均値は適合基準を満足しました。

接着耐久性

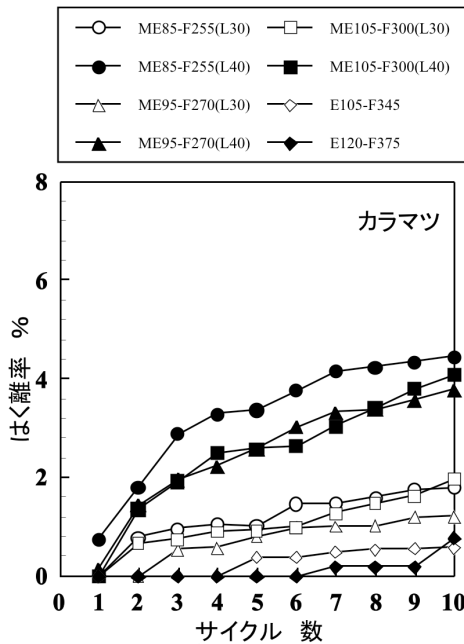


図7 接着耐久性試験の結果

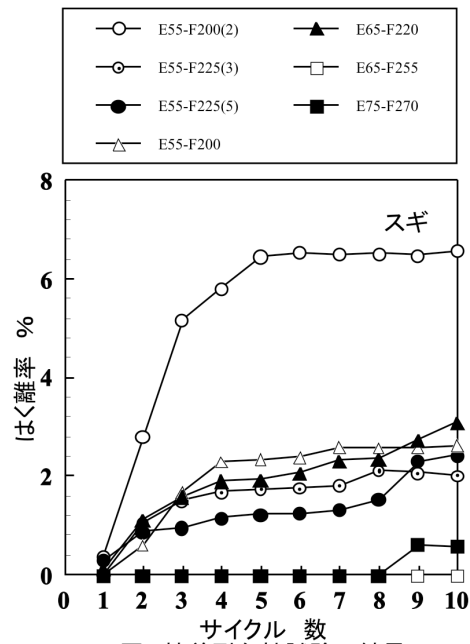


図8 接着耐久性試験の結果

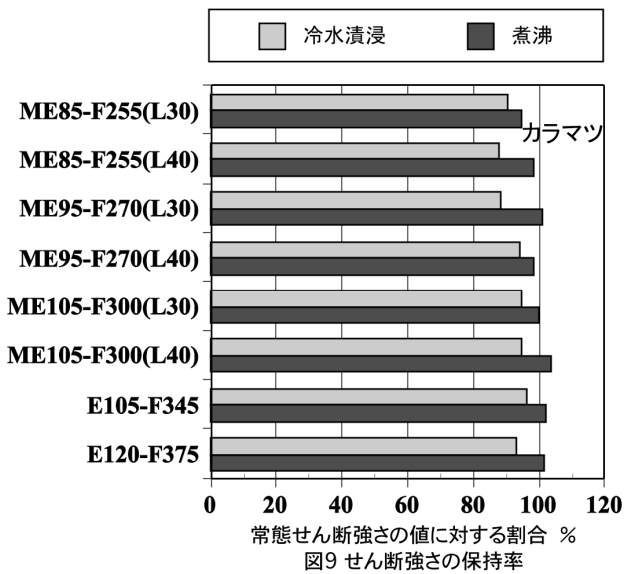


図9 せん断強さの保持率

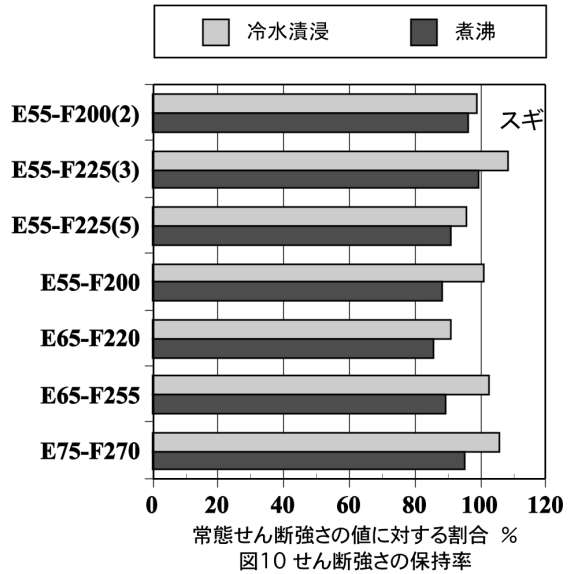


図10 せん断強さの保持率

はく離試験を繰り返して接着耐久性を評価したところ、10 サイクルを終えても、ごく一部のタイプを除き両木口面におけるはく離率は5%以下でした。

はく離試験後の試験体を用いてブロックせん断試験を行った結果、すべての集成材モデルにおいて、せん断強さの平均値は処理後も適合基準を満足しており、高い耐水性能を示しました。

Ⅲ 生産計画

作成に当たっての留意事項

供試材料:山梨県産のカラマツラミナ、スギラミナ(13x3.5x400cm)。高温による標準的なスケジュール(90°C-60°C)で乾燥。

材質調査:構造用集成材規格の等級区分機によるラミナの品質基準に従い、材の両端部の節相当径比を判定。

ヤング係数の測定:MSRラミナに準じた方法で測定。中央集中荷重方式によりスパン 1,200mm に対し 6cm ピッチで 40 箇所を測定。

機械等級区分:構造用集成材規格の等級区分機によるラミナの強度性能基準に従い、ヤング係数の平均値に応じ等級区分。

ラミナの特性1

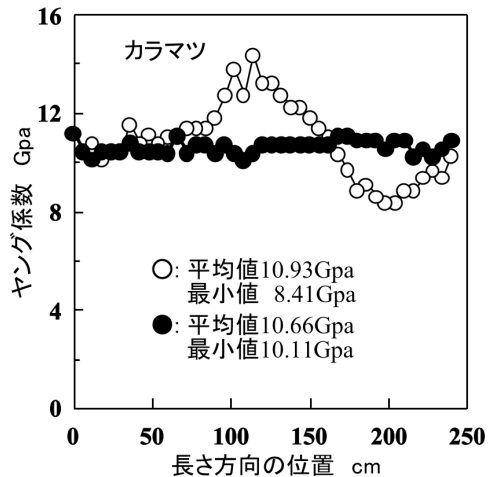


図1 ラミナ内のヤング係数の変動パターン

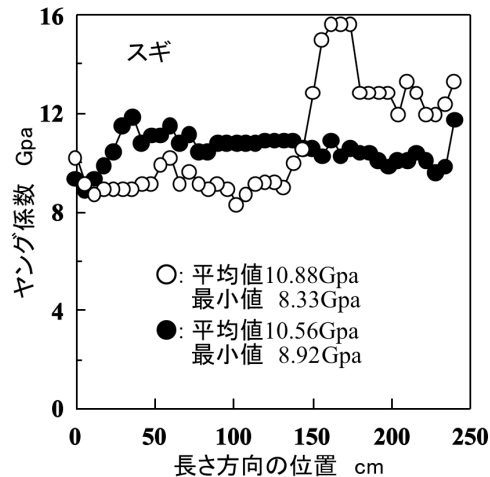


図2 ラミナ内のヤング係数の変動パターン

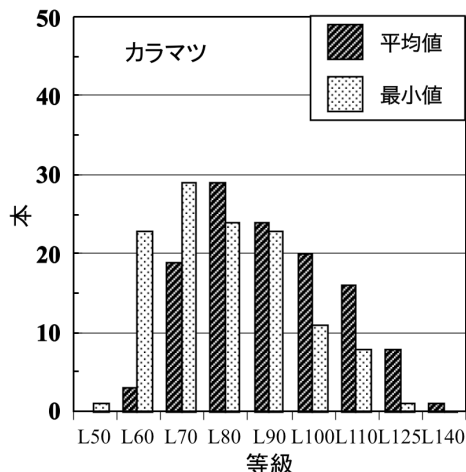


図3 等級と本数

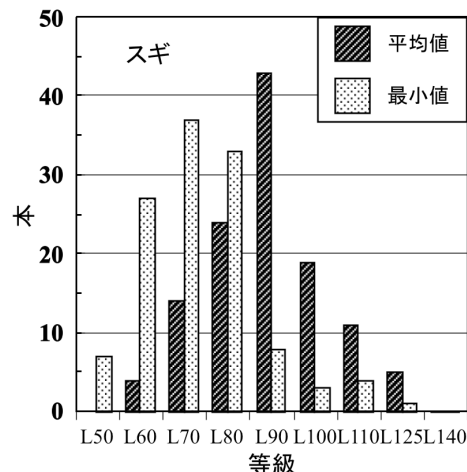


図4 等級と本数

カラマツラミナの長さ方向のヤング係数は、一般的に変動が大きく、最小値と平均値の差が大きいです。カラマツの場合、強度保証面をより重視するならば、最小値で等級区分を行うと安全側に評価されます。

ラミナの特性2

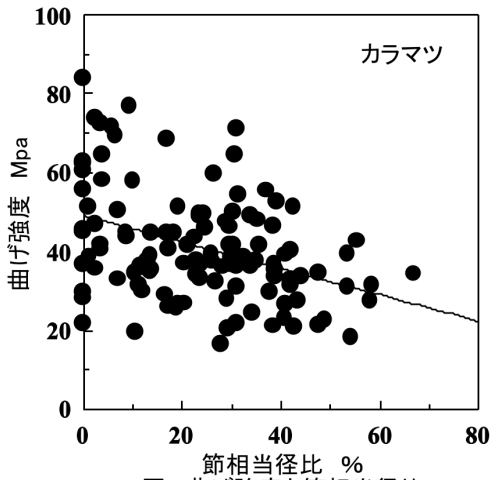


図5 曲げ強度と節相当径比

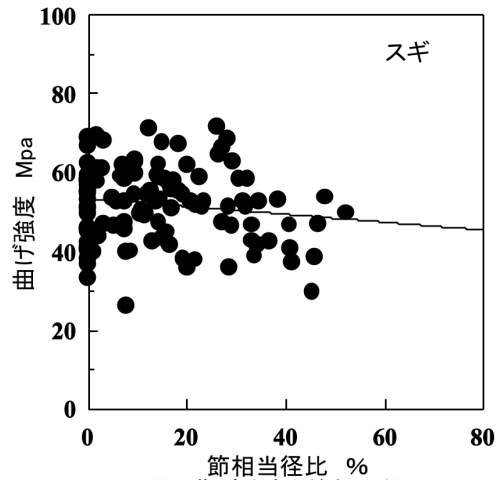


図6 曲げ強度と節相当径比

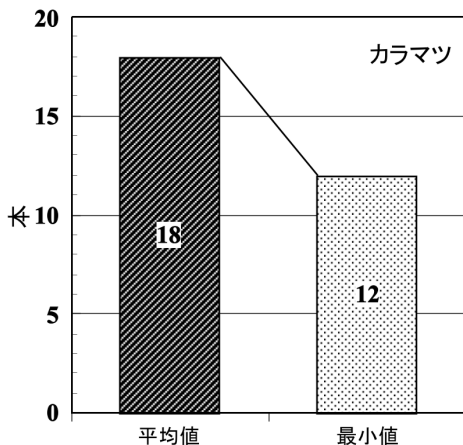


図7 曲げ強度が基準以下の本数

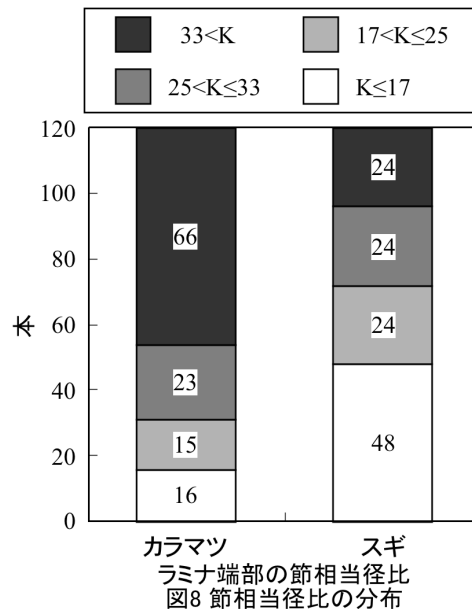


図8 節相当径比の分布

破壊の位置は、ヤング係数の最小値の箇所とほぼ一致し、節の箇所から破壊しました。節などの欠点を除去し縦継ぎ加工を行えば、曲げ強度の基準を満足する本数を増やすことが可能です。

最小値で等級区分を行うと、基準強度以下の本数を減少させることができます。カラマツを MSR ラミナとして利用しようとする、半数以上が両端部分の節相当径比の許容限度である 33%を超えてしまいますが、機械等級区分ラミナとしては使用可能です。

構造用集成材の強度等級推定

＜カラマツ構造用集成材＞

○強度等級の推定条件

ラミナのヤング係数の分布を正規分布と仮定し、平均値と標準偏差から正規乱数を5,000個発生させ、仮想ラミナのヤング係数とした。

4層から64層までの等厚のラミナで構成した集成材の各層のラミナの比率を平均して求めたところ、最外層用、外層用、中間層用及び内層用で、それぞれ15.1%、12.3%、24.7%及び47.8%であった。

JAS規格に規定される対称異等級構成集成材の強度等級と集成材を構成するラミナの等級配置に従った。

L140からL60までに機械等級区分されたラミナで集成材を製造すると仮定した。最上級のE120-F330Eから最下級の85-F225までの4種類の集成材を製造することとした。

上位等級構成集成材から、最外層用、外層用、中間層用、内層用を上記のラミナの比率で割り付ける。各等級ラミナの不足分は上位等級の残存ラミナで補う。

○強度等級の推定結果

以上の方法で製造可能なカラマツ構造用集成材の強度等級を推定したところ、E120-F330E、E105-F300、E95-F270及びE85-F225で、それぞれ4%、24.5%、58.2%、13.5%でありました。

山梨県産カラマツ人工造林木からは、JAS規格のE105-F300及びE95-F270を主体に製造できます。

<スギ構造用集成材>

○強度等級の推定条件

ラミナのヤング係数の分布を正規分布と仮定し、平均値と標準偏差から正規乱数を5,000個発生させ、仮想ラミナのヤング係数とした。

4層から64層までの等厚のラミナで構成した集成材の各層のラミナの比率を平均して求めたところ、最外層用、外層用、中間層用及び内層用で、それぞれ15.1%、12.3%、24.7%及び47.8%であった。

JAS規格に規定される対称異等級構成集成材の強度等級と集成材を構成するラミナの等級配置に従った。

L140は0.1%以下なのでL120に含めた。L120からL40までに機械等級区分されたラミナで集成材を製造すると仮定した。E105-F300E、E95-F270、E85-F255およびE55-F200の4種類の集成材を製造することとした。

上位等級構成集成材から、最外層用、外層用、中間層用、内層用を上記のラミナの比率で割り付ける。各等級ラミナの不足分は上位等級の残存ラミナで補う。

○強度等級の推定結果

以上の方法で製造可能な構造用集成材の強度等級を推定したところ、E105-F300、E95-F270、E85-F225及びE55-F200で、それぞれ9.3%、67.6%、15.4%及び7.7%でした。

山梨県産スギ人工造林木からは、JAS規格のE95-F270及びE85-F225を主体に製造できます。

<問い合わせ>
山梨県森林総合研究所 本多
TEL 0556-22-8001 FAX 0556-22-8002
E-mail honda-vwt@pref.yamanashi.lg.jp