

県産スギ材を利用したハイブリッド防腐処理材の開発

Development of hybrid preservation timber that used Sugi in Gunma prefecture

町田初男・小黒正次・須貝与志明*・茂山知己*

I はじめに

県内の在来軸組住宅において構造部材として使用されてきた材料は、柱ではホワイトウッド集成材、スギ、ヒノキが大部分を占め、梁桁は少し前まではベイマツ平角、ベイマツ集成材、ホワイトウッド集成材が大部分であったが、強度データの普及や、県産材住宅建設支援制度³⁾等で建設された住宅に利用されることでスギ平角が増えてきている⁴⁾。

しかし、土台については、薬剤注入を行ったベイマツなどの集成材やベイツガ製材品以外にはヒノキの製材品が防腐処理無しで使われている程度である。集成材製材品を問わず注入土台は納期の関係もあり、注入後の再乾燥不足で使用されることもあることから、他の構造部材と比べると、寸法精度において問題が出るのが懸念される。

また、スギ材は柔らかいため、住宅用土台材としては九州以外では使われていないのが現状である。そこで、県産スギ材の需要拡大を図るとともに、土台材の寸法精度向上と基準の耐久性を確保する目的で、防腐・防蟻処理を行ったベイマツ、ベイツガ、サザンイエローパイン、アカマツをスギ材に接着したハイブリッド防腐処理土台材及びスギ・アカマツ防腐集成材の開発を行った。

II 材料及び方法

1 ハイブリッド防腐処理土台部材の性能

図-1にハイブリッド防腐処理土台材の断面構成を示した。製材のJASで、土台は通常K3相当であることから、薬剤の浸潤度は辺材部分の80%以上かつ材面から深さ10mmまでに存在する心材部分の80%以上を満たしている必要がある⁶⁾。表面から10mmまでに十分な浸潤層があれば耐久性は担保できると考えて、85mm角のスギ材の周囲に厚さ10mmの加圧注入した板を接着してこの条件を満たすことを検討した。

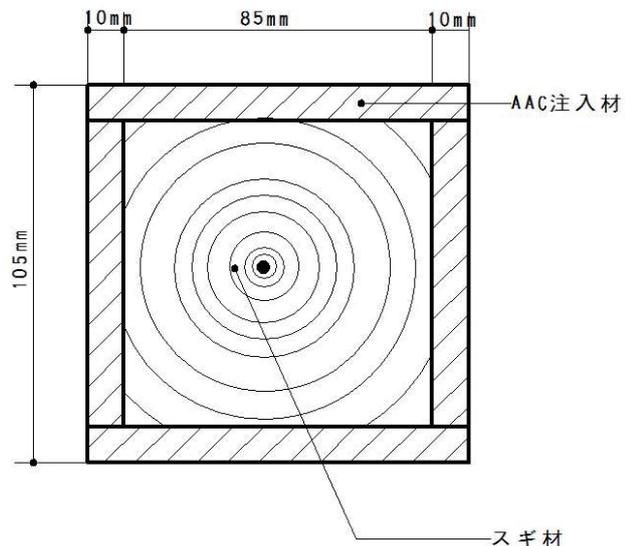


図-1 ハイブリッド防腐処理土台材の断面構成

(1) 樹種の違いによる薬剤注入量

厚さ18mm×幅120mm×長さ2mの乾燥したベイマツ(n=25)、ベイツガ(n=26)、サザンイエローパイン(SYP)(n=26)、及びアカマツ(n=16)の板にAAC(ペンタキュアニューBM)をJIS

*株式会社ザイエンス技術開発部

A9002 に準じた方法で加圧含浸を行い、注入量を把握した。

(2) 樹種の違いによる接着性能

加圧含浸した板材に、レゾルシノール系と水性高分子イソシアネート系接着剤を次のとおりの使用条件に応じた塗布量と圧縮圧で同寸法の人工乾燥を行ったスギと接着した。レゾルシノール系は 16 ~ 20 °C 可使時間 30 分、塗布量 300g/m²、圧縮圧力 0.98MPa、圧縮時間 16 時間、水性高分子イソシアネート系は 20 °C 可使時間 60 分、塗布量 250g/m²、圧縮圧力 0.98MPa、圧縮時間 1 時間の条件で接着操作を行った。

常態接着力は、集成材 JAS の構造用集成材の使用環境 A に準じて⁷⁾、接着面寸法 25mm × 25mm に切り出し、平衡含水率 12 % の 20 °C 65 % 恒温恒湿器中で恒量になるまで静置した後にインストロンジャパン製万能強度試験機 5582EX/H を用い、ブロックせん断試験を行った。

また、土台材としての使用環境は、平衡含水率が 20 % 程度という報告から⁹⁾ 27 °C 90 % の恒温恒湿室中で恒量になるまで静置した後、ブロックせん断試験を行い、湿潤接着力を求めた。なお、常態、湿潤の試験体はエンドマッチングし、試験体数は各条件で n=8 とした。

(3) スギと SYP 材及びアカマツ材の曲げヤング係数測定

曲げヤング係数測定は、厚さ 90mm × 幅 90mm × 長さ 2m のスギ (n=40) と厚さ 25mm × 幅 200mm × 長さ 2m の SYP 材 (n=49) と同寸法のアカマツ材 (n=74) について、万能強度試験機で行った。試験条件は、スギは支点間 18h=162cm 荷重点間 6h=54cm の 3 等分点 4 点荷重方式で比例限度を超えない程度まで 10mm/min の速度で載荷し、SYP とアカマツは支点間 14h=35cm の中央集中荷重で比例限度を超えない程度まで 10mm/min の速度で載荷し、それぞれ支点に対する中央部の変位から曲げヤング係数を求めた。

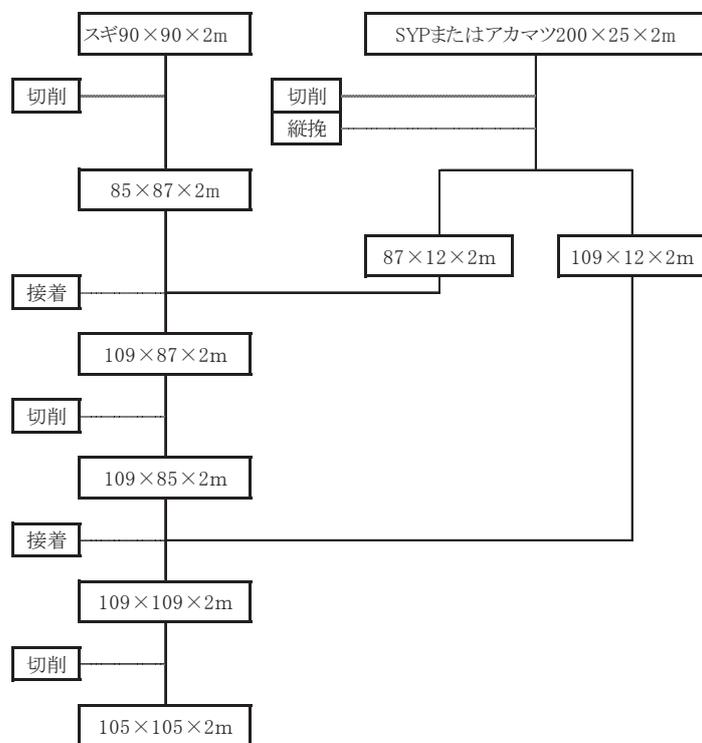
2 ハイブリッド防腐処理土台材の試作と性能評価

スギと SYP 及びアカマツを図一 2 の手順で加工し、ハイブリッド防腐処理土台材を試作した。接着剤は 1 (2) で検討したものを使用している。なお、スギと SYP 及びアカマツのエレメントの構成は弱いもの同士を組み合わせることで、安全側にたって検討することとした。

(1) 曲げ強度試験

試作した試験体は、1 週間以上の養生期間を経て、支点間 18h = 189cm 荷重点間 6h = 63cm 載荷速度 10mm/min の 3 等分点 4 点曲げ試験に供した。中央部で支点間に対する変位を測定し、定法により⁵⁾ 曲げ強度と見かけの曲げヤング係数を求めた。

(2) むり込み試験



図一 2 ハイブリッド防腐処理土台材の試作手順

曲げ試験終了後、非破壊部分を切り出しめり込み試験に供した。試験方法は日本住宅・木材技術センターの「構造用木材の強度試験マニュアル 2011」に準じて行った⁵⁾。なお、材中央部の試験のみを行い、材縁部の試験は行わなかった。

(3) 減圧加圧試験

曲げ試験終了後の非破壊部分 (SYP n=13, アカマツ n=14) を、長さ 75mm で 2 体切り出し、集成材の JAS に準じて、常温水中で減圧 84.7kPa 5 分+加圧 0.51MPa 60 分を 2 回繰り返し後、70℃で 18 時間以上乾燥を行い、木口面の接着はく離長さを測定した⁷⁾。

(4) スギ・アカマツハイブリッド防腐処理土台材の木口浸潤度測定

試作したハイブリッド防腐処理土台材は、木口で無処理スギ材が露出することから、アゾール・非エステルピレスロイド化合物系油性保存剤を木口に 600g/m² 塗布し、1 週間の養生後、軸方向に切断して、切断面で未浸潤部分と木口からの距離と、切断面に材の軸と直角方向に定規を当てて未浸潤部分が断面延長の 20%を超えた箇所の木口からの距離を測定した (n=13)。なお、保存剤には標識剤として亜鉛化合物を含有させ、呈色反応により呈色した部分を浸潤と判断した。

3 スギ・アカマツ防腐集成材の試作

2 (3) の減圧加圧試験の結果、85mm 角と厚さ 10mm の板では浸水時の寸法挙動が大きく異なり、接着はく離の原因となることや、板材を SYP からアカマツに代えても発生していること、また、接着工程を 2 回行う必要があり、コストが高くつくことなどから、実用化はかなり難しいと判断された。そこで、スギ・アカマツの集成材に油性保存剤を使用した深浸潤処理を施すことで、柔らかいスギの欠点を補う土台材の開発を試みた。

(1) スギ及びアカマツラミナのヤング係数測定

ヤング係数測定は、県内産厚さ 40mm ×幅 120mm ×長さ 4m のスギ (n=40) と厚さ 40mm ×幅 120mm ×長さ 2m のアカマツ (n=90) について、小野測器製 FFT アナライザ CF-1200 で縦震動法により固有振動数を測定し、下の式により縦振動ヤング係数を求めた。

$$E_{fr} = 4 L^2 f^2 \rho$$

E_{fr} : 縦振動ヤング係数

L : 材長 (m)

f : 固有振動数 (Hz)

ρ : 密度 (kg/m³)

(2) スギ・アカマツ集成材の試作と曲げ強度試験

(1) でヤング係数測定を行ったラミナを県内造作用集成材工場において、プレーナーで厚さ 27mm ×幅 107mm に仕上げ、図-3 に示すように、外側アカマツの 2 プライフィンガージョイント (FJ) ラミナ、内側スギ 2 プライ通直ラミナで 105mm 角 4 m の 4 プライ集成材を試作した。接着剤は堆積時間 10 分、塗布量 300 g/m²、圧縮圧力 0.98 ~ 1.27MPa、圧縮時間 60 ~ 90 分の



図-3 スギ・アカマツ集成材の断面構成

短時間硬化型レゾルシノール系接着剤を使用し、スギ、アカマツとも弱い方から 1 / 3 のラミナを使用した試験体 6 体と、それ以外のラミナを使用した試験体 10 体を製造した。

1 週間以上の養生の後、試作した集成材を長さ 2 m で鋸断し、一方はそのまま、もう一方は深浸潤処理用インサイジングを行った後、弱い試験体については全て、それ以外の試験体についてはエンド

マッチングさせた 10 組中 6 組を曲げ強度試験に供した。曲げ強度試験は集成材の JAS に準じて支点間 18h = 189cm 荷重点間 4h = 42cm の 4 点曲げ試験で行った。載荷方向はラミナの積層方向と同方向とした。中央部で支点間に対する変位を測定し、定法により曲げ強度と見かけの曲げヤング係数を求めた⁷⁾。

(3) むり込み試験

曲げ試験終了後、非破壊部分を切り出し、むり込み試験に供した。試験は 2 (2) と同様に行った。なお、載荷方向はラミナの積層方向と同方向で、試験部位は、材中央部の試験と材縁部の試験の 2 通り行った。

(4) 減圧加圧試験

(2) で曲げ試験に供していない 4 組について、2 (3) と同様の方法で減圧加圧試験に供した。

III 結果及び考察

1 ハイブリッド防腐処理土台部材の性能

(1) 樹種の違いによる薬剤注入量

図-4 に樹種別の AAC 注入量を示した。これは外側に貼り付ける 10mm 板材の樹種選定のためであり、注入土台に多く使われているベイツガ、集成土台に使われているベイマツは注入性が良好とはいえない樹種で、今回 18mm の板でも注入量が 200 ~ 300kg/m³ 程度であった。一方で SYP、県産のアカマツは大部分が 500 ~ 600kg/m³ ときわめて良好な注入性であった。

ハイブリッド防腐処理土台材は無処理スギの外側に防腐処理した板を配置し、外側の板部分のみで耐朽性を担保することから、板には防腐薬剤の未浸潤部分はないことが望ましい。木材の実質部分の密度は樹種にかかわらず約 1.5g/cm³ であることから⁸⁾、全乾密度を求めれば、実質密度との関係から概算の空隙率が求められる。その結果 SYP やアカマツの空隙率は 60 ~ 70% と想定され、密度 1 に近い水溶性防腐薬剤は、空隙に全て注入したと仮定しても 600 ~ 700kg/m³ が最大の注入量と考えられる。そのため、SYP またはアカマツに注入を行えば十分な浸潤が得られるものと推測できた。

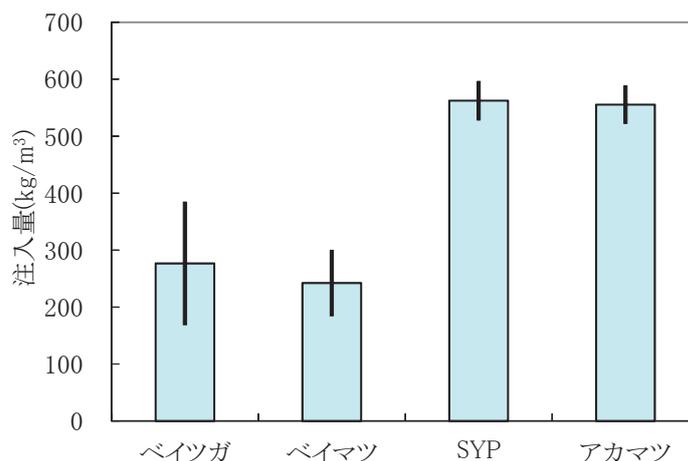


図-4 樹種別 AAC 注入量

(2) 樹種の違いによる接着性能

図-5、6 に異なった平衡含水率状態でのブロックせん断試験の結果を示した。

図-5 では、ほとんどの場合で含水率 20 % の湿潤接着せん断強度は含水率 12 % の常態接着せん断

強度に比べると低下している。しかし、集成材 JAS のスギの基準値である 5.4N/mm^2 を下回っているものはなかった。

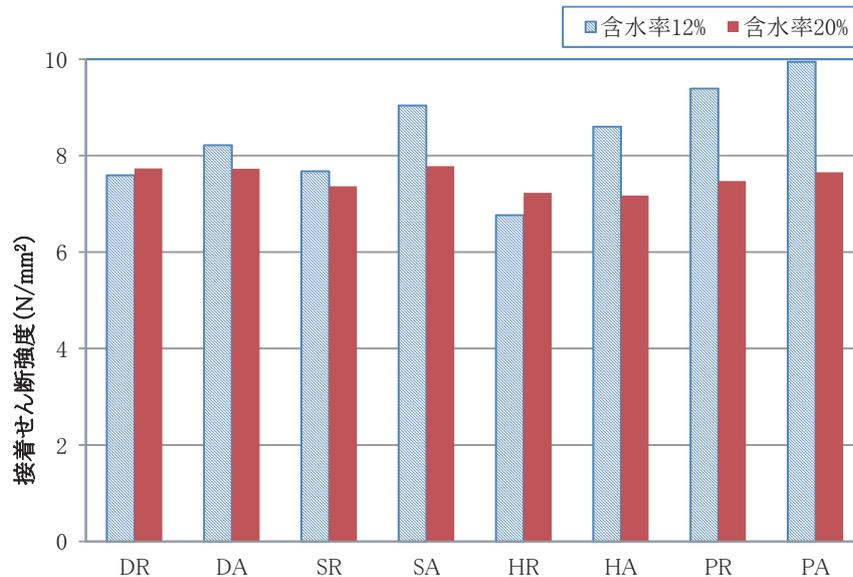


図-5 異なる含水率状態における接着せん断強度

注：項目名 1 文字目は D (ベイマツ) S (サザンイエローパイン) H (ベイツガ) P (アカマツ)
2 文字目は R (レゾルシノール) A (水性高分子イソシアネート)

一方、図-6 の木部破断率はアカマツでは含水率 12%、20%ともにレゾルシノールと水性高分子イソシアネートのどちらにおいても 90%以上であった。しかし、他の樹種では、含水率 12%でスギの JAS の基準値である 70%を下回っている試験体が多く出現した。含水率 20%の状態では、含水率の影響で木部の強度が低下し、木部破断率が上昇したものと推察された。

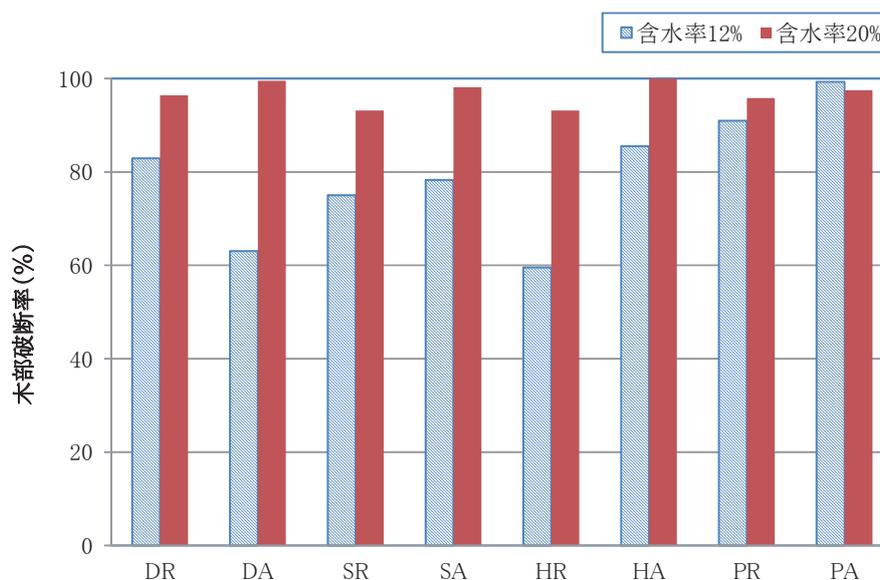


図-6 異なる含水率状態における木部破断率

注：項目名 1 文字目は D (ベイマツ) S (サザンイエローパイン) H (ベイツガ) P (アカマツ)
2 文字目は R (レゾルシノール) A (水性高分子イソシアネート)

(3) スギと SYP 材及びアカマツ材の曲げヤング係数測定

図-7 にハイブリッド正角材のエレメントであるスギとアカマツ及び SYP の曲げヤング係数の分布を示した。スギの平均 8.34KN/mm^2 に対して、アカマツは 12.53KN/mm^2 、SYP は 11.51KN/mm^2 とスギに比べて強く密度も大きいことから、ハイブリッドによる曲げ強度やめり込み強度の向上が期待できる。

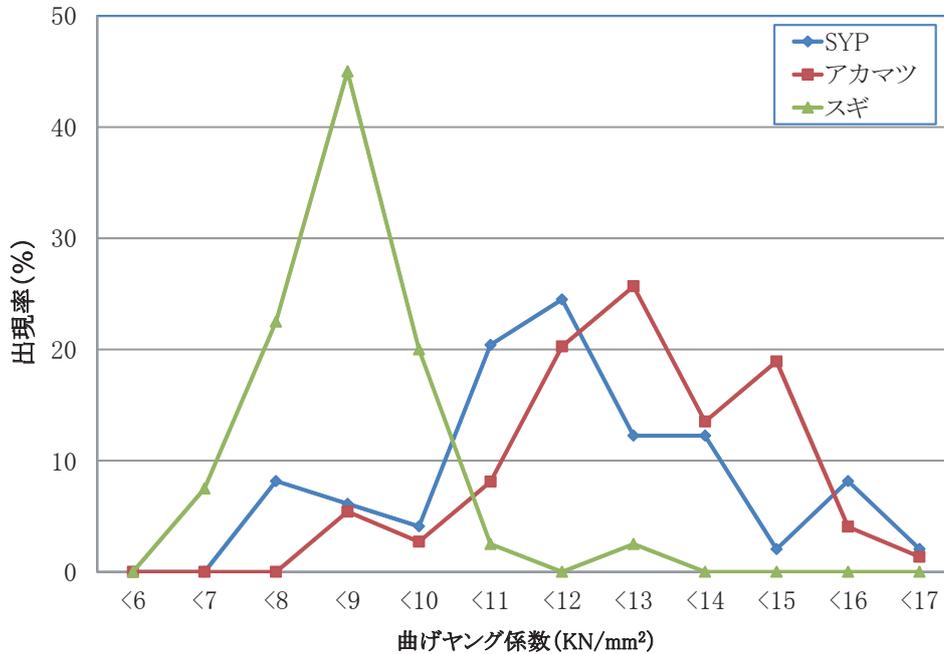


図-7 ハイブリッド防腐処理部材の曲げヤング係数分布

2 ハイブリッド防腐処理土台材の試作と性能評価

(1) 曲げ強度試験

表-1 に試作したハイブリッド防腐処理土台材 2 種類とコントロールのベイツガインサイジング材及びスギ正角の曲げ強度を示した。曲げ強度値は、通常土台として使用されているベイツガに比べ平均値、信頼区間 75%のときの下限許容限界値（以下、下限値）ともかなり向上している。SYP とアカマツでは、SYP の方が平均値、下限値ともに 10 ~ 20 %高めであるが、これは SYP がほぼ無節であるのに対し、アカマツはほとんどの材料で節が材面に存在しているためと考えられる。

表-1 曲げ強度試験結果

| | HB-SYP(n=12) | | HB-P(n=14) | | HR(n=19) | | S(n=191) | |
|-------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| | MOR (N/mm ²) | MOE (KN/mm ²) |
| Ave | 69.9 | 11.86 | 63.0 | 10.99 | 51.8 | 11.34 | 42.8 | 7.88 |
| SD | 10.1 | 1.50 | 13.1 | 0.55 | 13.8 | 1.60 | 9.0 | 1.49 |
| CV(%) | 14.4 | 12.63 | 20.7 | 4.99 | 26.6 | 14.14 | 21.0 | 18.89 |
| PTL | 55.1 | | 44.2 | | 33.9 | | 28.8 | |

注1: HB-SYP(サザンイエローパインハイブリッド)、HB-P(アカマツハイブリッド)、HR(ベイツガインサイジング)、S(スギ製材品)

注2: MOE(曲げヤング係数)、MOR(曲げ強度)

注3: Ave(平均値)、SD(標準偏差)、CV(変動係数)、PTL(信頼区間75%のときの5%下限許容限界値)

(2) めり込み試験

表-2 にめり込み試験結果を示した。ベイツガのめり込み降伏強さの平均 6.15N/mm^2 に対して、スギのめり込み降伏強さは平均 4.85N/mm^2 であるが、スギにアカマツを接着したハイブリッド防腐処理土台材では平均 7.87N/mm^2 、下限値でも 6.88N/mm^2 と、ベイツガよりも 20 ~ 30 %強度が向上し、スギ製材品に比べると 1.6 倍の強度となっている。(1) で、曲げ強度性能が向上していることもあわせ、ハイブリッド処理によって、柔らかいスギの欠点を補うことが可能である。

表-2 中央部めり込み試験結果

| | HB-P(n=12) | | HR(n=20) | | S(n=14) | |
|-------|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| | C90-STSy (N/mm^2) | C90-STSdef (N/mm^2) | C90-STSy (N/mm^2) | C90-STSdef (N/mm^2) | C90-STSy (N/mm^2) | C90-STSdef (N/mm^2) |
| Ave | 7.87 | 11.78 | 6.15 | 8.41 | 4.85 | 7.18 |
| SD | 0.74 | 1.19 | 0.88 | 0.79 | 1.27 | 1.62 |
| CV(%) | 9.4 | 10.1 | 14.3 | 9.3 | 26.2 | 22.6 |
| PTL | 6.88 | 10.07 | 5.01 | 7.35 | 3.15 | 4.52 |

注1:HB-P(アカマツハイブリッド)、HR(ベイツガインサイジング)、S(スギ製材)

注2:C90-STSy(めり込み降伏強さ)、C90-STSdef(規定量変形時応力)

注3:Ave(平均値)、SD(標準偏差)、CV(変動係数)、PTL(信頼区間75%のときの5%下限許容限界値)

(3) 減圧加圧試験

図-8 と 9 に減圧加圧試験終了後の試験体の様子、表-3 に減圧加圧試験結果を示した。SYP の接着面にはく離が多く発生している様子がよくわかる。接着長さに対する平均はく離率は、SYP が 8.7 %で、アカマツの 3.0 %に比べて3倍近いはく離が生じており、5 %以下という基準値を満たしていなかった。なお、平均はく離率では基準内であったアカマツであるが、同一接着層におけるはく離長さが接着層長さの 1/4 を超えないことという基準を満たせない試験体が、半数以上であった。

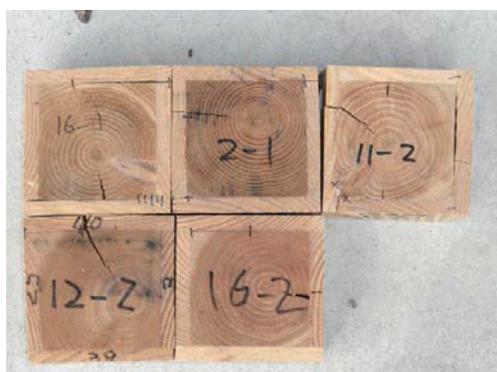


図-8 減圧加圧試験終了後の SYP 試験体

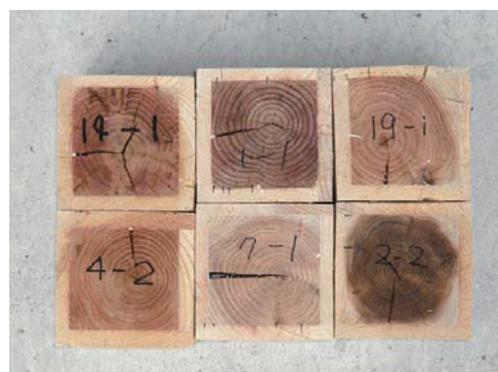


図-9 減圧加圧試験終了後のアカマツ試験体

表-3 ハイブリッド防腐処理土台材の減圧加圧試験結果

| | 平均はく離率 | 最大はく離率 |
|--------|--------|--------|
| | (%) | (%) |
| HB-SYP | 8.7 | 44.9 |
| HB-P | 3.0 | 41.4 |

注1:HB-SYP(サザンイエローパイン)HB-P(アカマツ)

(4) スギ・アカマツハイブリッド材の木口浸潤度測定

図-10 に薬剤の浸潤状況を、表-4 に測定結果を示した。切断した断面において 100 %浸潤している深さは木口から平均 14mm、標準偏差は 9mm、変動係数は 64 %であった。なお、80 %の浸潤率を満たす深さは平均 27mm、標準偏差は 15mm、変動係数は 56 %であった。いずれにしても、浸潤

深さの変動係数は 60 %前後と、同じ塗布量であってもバラツキの多い結果となった。



図－10 木口塗布した保存薬剤の浸潤状況

表－4 塗布型薬剤の木口からの浸潤深さ

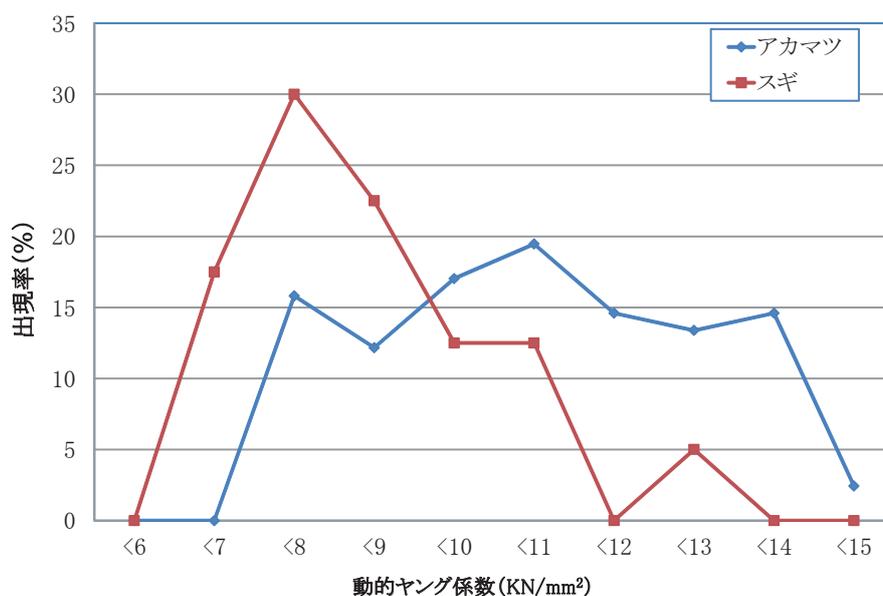
| 塗布薬剤浸潤度 | 100% (mm) | 80% (mm) |
|---------|--------------|-------------|
| Ave | 14.5 | 27.2 |
| SD | 9.2 | 15.2 |
| CV (%) | 63.6 | 56.1 |
| PTL | 6.4 | 12.6 |

注1: Ave(平均値)、SD(標準偏差)、CV(変動係数)、PTL(信頼区間75%のときの5%下限許容限界値)

3 スギ・アカマツ防腐集成材の試作

(1) スギ及びアカマツラミナのヤング係数測定

図－11 にスギとアカマツラミナの縦振動ヤング係数の分布を示した。スギの平均は 8.80KN/mm² で、アカマツは 10.54KN/mm² であった。1 (3) の値に比べると、スギはやや高めであったが、アカマツは低い値となった。しかし、アカマツの数値は全国の平均的な数値と大きな違いはなく²⁾、1 (3) で測定した材の値が高かったということであった。



図－11 スギ・アカマツ集成材用ラミナの動的ヤング係数分布

(2) スギ・アカマツ集成材の試作と曲げ強度試験

曲げ強度試験の結果を、表-5に示した。曲げヤング係数、曲げ強度ともにインサイジングによる強度低下は10%以下であったが、曲げ強度が集成材のJASの同程度のヤング係数の規格値(例えば、対称異等級構成集成材E90-F270の下限值27.0N/mm²)に比べ低い値であった。これは、県内の業者に試作を依頼したが造作用の工場であるため、FJの形状が造作用で十分な圧縮ができなかったことが原因であり、ほぼ全部の試験体で引張り側FJのはく離で破壊していた。

表-5 スギ・アカマツ集成材の曲げ強さ

| | G-SP-I(n=12) | | G-SP-N(n=12) | |
|-------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| | MOR | MOE | MOR | MOE |
| | (N/mm ²) | (KN/mm ²) | (N/mm ²) | (KN/mm ²) |
| Ave | 32.28 | 9.33 | 32.35 | 9.76 |
| SD | 4.17 | 1.20 | 8.13 | 1.47 |
| CV(%) | 12.9 | 12.8 | 25.1 | 15.1 |
| PTL | 27.52 | | 19.45 | |

注1:G-SP(スギ・アカマツ集成材)

試験体種別のI、NはそれぞれI:インサイジング処理、N:インサイジング処理なし

注2:MOE(曲げヤング係数)、MOR(曲げ強度)

注3:Ave(平均値)、SD(標準偏差)、CV(変動係数)、PTL(信頼区間75%のときの5%下限許容限界値)

(3) むり込み試験

表-6にむり込み試験結果を示した。2(2)で示した土台で多く使用されているベイツガのむり込み降伏強さの平均6.15N/mm²、ハイブリッド防腐処理土台材の平均7.87N/mm²に対してインサイジング材の中央部むり込み降伏強さは6.67N/mm²とハイブリッド防腐処理土台材よりは弱いものの、ベイツガよりは10%程度強度が向上している。弱い材料を選択して構成した場合でも5%下限値が5.35N/mm²とベイツガの5.01N/mm²よりはやや強めの結果となった。スギとアカマツの異樹種集成材でも、柔らかいスギの欠点を補うことが出来ることが明らかになった。

表-6 スギ・アカマツ防腐集成材のむり込み強さ

| | G-SP-I-C(n=12) | | G-SP-I-E(n=12) | | G-SP-N-C(n=11) | | G-SP-N-E(n=11) | |
|-------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | C90-STSy | C90-STsdef | C90-STSy | C90-STsdef | C90-STSy | C90-STsdef | C90-STSy | C90-STsdef |
| | (N/mm ²) |
| Ave | 6.67 | 9.51 | 5.02 | 6.98 | 7.14 | 9.80 | 5.52 | 7.33 |
| SD | 1.01 | 0.88 | 0.49 | 0.76 | 0.75 | 0.61 | 0.66 | 0.72 |
| CV(%) | 15.2 | 9.3 | 9.7 | 11.0 | 10.5 | 6.2 | 12.0 | 9.8 |
| PTL | 5.35 | 8.02 | 4.35 | 6.05 | 6.33 | 8.77 | 4.73 | 6.53 |

注1:G-SP(スギ・アカマツ集成材)

I、Nは、I(インサイジング処理)、N(インサイジング処理なし)

C、Eは、それぞれC(材中央部)、E(材縁部)

注2:C90-STSy(むり込み降伏強さ)、C90-STsdef(規定量変形時応力)

注3:Ave(平均値)、SD(標準偏差)、CV(変動係数)、PTL(信頼区間75%のときの5%下限許容限界値)

(4) 減圧加圧試験

表-7にスギ・アカマツ集成材の減圧加圧試験の結果を示した。接着長さに対する平均はく離率は、無処理が0.0%で、最大のはく離が生じていた接着層でも0.4%であった。一方でインサイジング処理材は無処理に比べればやや多いが、平均0.3%、最大でも1.8%で、2(3)のハイブリッド防腐処理土台材のはく離率に比べるとときわめて少なかった。

表-7 スギ・アカマツ防腐集成材の減圧加圧試験結果

| 種別 | 平均はく離率 (%) | 最大はく離率 (%) |
|-----------------|---------------|---------------|
| 無処理 (n=8) | 0.0 | 0.4 |
| インサイジング処理 (n=8) | 0.3 | 1.8 |

IV おわりに

本研究の結果、国内で構造用・土木用としてほとんど使用されていないサザンイエローパインの注入性、短時間硬化型レゾルシノール接着剤の性能、減圧加圧試験による接着耐久性評価、スギの周囲に強い板材を貼り付けることによる強度性能の著しい向上等、様々な技術的知見が得られた。しかし一方で、実用化に向けては、コストや省力化などの問題が残されている。今後、経済状況の変化や新しい加工技術の開発などにより、スギとアカマツのハイブリッド防腐処理材が実用化できることを期待したい。

謝 辞

本研究を進めるに当たり、接着剤の選定や試供品の提供等に多大なご協力をいただいた株式会社オーシカ、米沢哲実北関東営業所長（当時）他、ご協力を頂いた多くの方々に深謝する。

引用文献

- 1) 雨宮昭二：浅川実験林苗畑の杭試験(1)杭の被害程度を評価する方法，林試研報，150，143-156,(1963)
- 2) 飯島泰男ほか：木材の強度等データおよび解説：152pp，木構造振興株式会社，東京，(2011)
- 3) たとえば群馬県（2012）ぐんまの木で家づくり支援事業補助金交付要綱，<http://www.pref.gunma.jp/04/e3600069.html> (参照 2012-5-18)
- 4) 町田初男・工藤康夫：スギ梁桁材の実大曲げ試験と普及，Journal of Timber Engineering20(1)，11-16，（2007）
- 5) 日本住宅・木材技術センター（2011）構造用木材の強度試験マニュアル 2011，<http://www.howtec.or.jp/kenkyu/m-kyoudosiken.pdf>（参照 2011-6-21）
- 6) 農林水産省（2007）製材の日本農林規格，http://www.maff.go.jp/j/jas/jas_kikaku/pdf/kikaku_40.pdf（参照 2008-11-27）
- 7) 農林水産省（2007）集成材の日本農林規格，http://www.maff.go.jp/j/jas/jas_kikaku/pdf/kikaku_47.pdf（参照 2008-3-5）
- 8) 岡野健：03 木材の物理的性質（木材活用辞典，木材活用辞典編集委員会編，738pp，産業調査会，東京），p77，（1994）
- 9) 吉田孝久：今日からの木材乾燥－乾燥マニュアル（改訂版）－，長野県木材協同組合連合会，29-30，（2002）