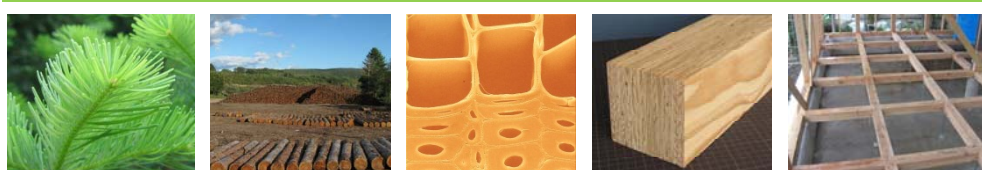


新しい土台用構造材： カラマツ単板集成材「LVG」



地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 林産試験場
独立行政法人 森林総合研究所
協同組合オホーツクウッドピア
丸玉産業株式会社
物林株式会社

目次

| | |
|-------------------|----|
| はじめに | 1 |
| 1. カラマツ単板集成材「LVG」 | 2 |
| 2. LVGの特徴 | 4 |
| 3. LVGの用途と使用環境 | 6 |
| 4. LVGの製造方法 | 8 |
| 5. LVGの接着性能 | 10 |
| 6. LVGの防腐性能 | 14 |
| 7. LVGの防蟻性能 | 15 |
| 8. LVGの強度性能 | 16 |
| 9. LVGの接合性能 | 22 |
| 10. LVG土台の構造設計 | 24 |
| 11. LVGの役割と効果 | 26 |
| おわりに | 27 |
| 研究発表 | 28 |
| 研究体制 | 29 |

はじめに

長期優良住宅普及促進法や公共建築物等木材利用促進法の普及推進により、耐用年数が長く、中・大規模な木造建築物が増えつつあり、耐久性と強度性能の高い木質構造材料が求められるようになってきました。このため、木造建築物の土台や大引等の腐朽や蟻害の恐れのある部材には、確実な保存処理を施す必要があります。

一方、北海道の主要人工林樹種であるカラマツは密度や強度が高く、構造材として有用ですが、薬剤等の浸透性が低く、一般的な加圧注入処理では土台に要求される保存処理基準の達成が難しいとされてきました。

そこで、材料内部まで薬剤を浸透させやすい単板積層材（LVL：Laminated Veneer Lumber）に着目し、道内の合板工場と集成材工場が連携して、従来のLVLとは異なる製造方法を確立するとともに、新しい土台用構造材「単板集成材（LVG：Laminated Veneer Glulam）」を開発しました。具体的には、以下の三つの技術的検討を行いました。

1. 新しい単板集成材の生産システムの開発

合板工場では積層したLVLラミナを、集成材工場では集成加工することで、所定の断面寸法の軸材料を製造できる、従来にない新しい構造用LVLの生産システムを開発しました。

2. 北海道産人工林材を用いた単板集成材に最適な保存処理技術の開発

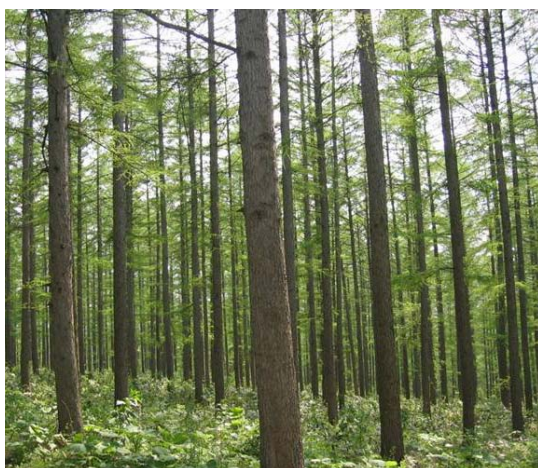
接着剤混入処理法を用いて、道産人工林材の単板に木材保存剤が十分浸透する諸条件を確立するとともに、木材保存剤の有効成分に対する熱的影響を抑えた、最適な実用製造条件を確立しました。

3. 単板集成材の公的認定取得に向けた製造試験とデータ整備

新しい生産システムと最適な保存処理技術を用いた単板集成材について、製造試験および公的認定取得に向けたデータ整備を行いました。

上記の検討結果により、カラマツLVGの量産システムと最適な保存処理技術・製造技術の確立、土台としての優位性を示す材料特性のデータ整備を実現しました。

本資料では、本研究で得られた成果をご紹介します。



北海道産カラマツ

合板技術
集成技術
品質工学

接着工学
分析化学
生物学
材料力学



単板集成材LVG

1. カラマツ単板集成材「LVG」

高耐久部材のニーズ

- ◆長期優良住宅や公共建築物の木造化等の施策推進により、耐用年数が長く、高度な構造設計に基づく木造建築物が増えつつあります。それに伴い、木造建築物の土台や大引等の腐朽や蟻害の恐れのある部分には、耐久性が高い高耐久樹種材料や保存処理材料が求められています。



長期優良住宅



木造公共建築物



1階床組

現状の土台製品

- ◆土台製品の主力である加圧注入処理製材は十分に乾燥されていないものが多く、乾燥収縮による構造体の変形や建具の不具合を引き起こすことが懸念されています。また、薬剤が表層部にしか浸潤しないため、プレカット加工や施工時の切り欠きや孔あけにより暴露された未浸潤部分には薬剤を再塗布する必要があります。また、高耐久樹種は樹種と供給量・地域に限られ、道産造林樹種で該当樹種はありません。



加圧注入処理製材



加工後の保存措置



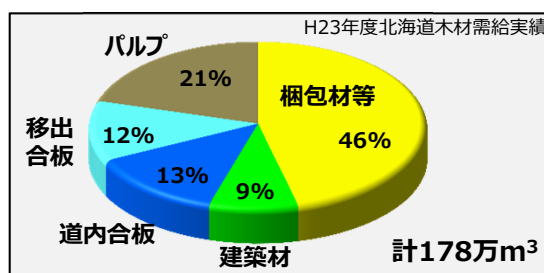
高耐久樹種

北海道産カラマツ

- ◆北海道の主要造林樹種であるカラマツは、主用途である産業用資材から付加価値の高い建築用材への需要転換が課題となっています。
- ◆道産カラマツは、国産造林樹種として価格、供給量、強度の面で優位性がありますが、難注入性であり、一般的な薬剤と加圧注入処理では土台に要求される保存処理基準の達成が困難とされています。



道産カラマツ



道産カラマツ丸太の利用内訳



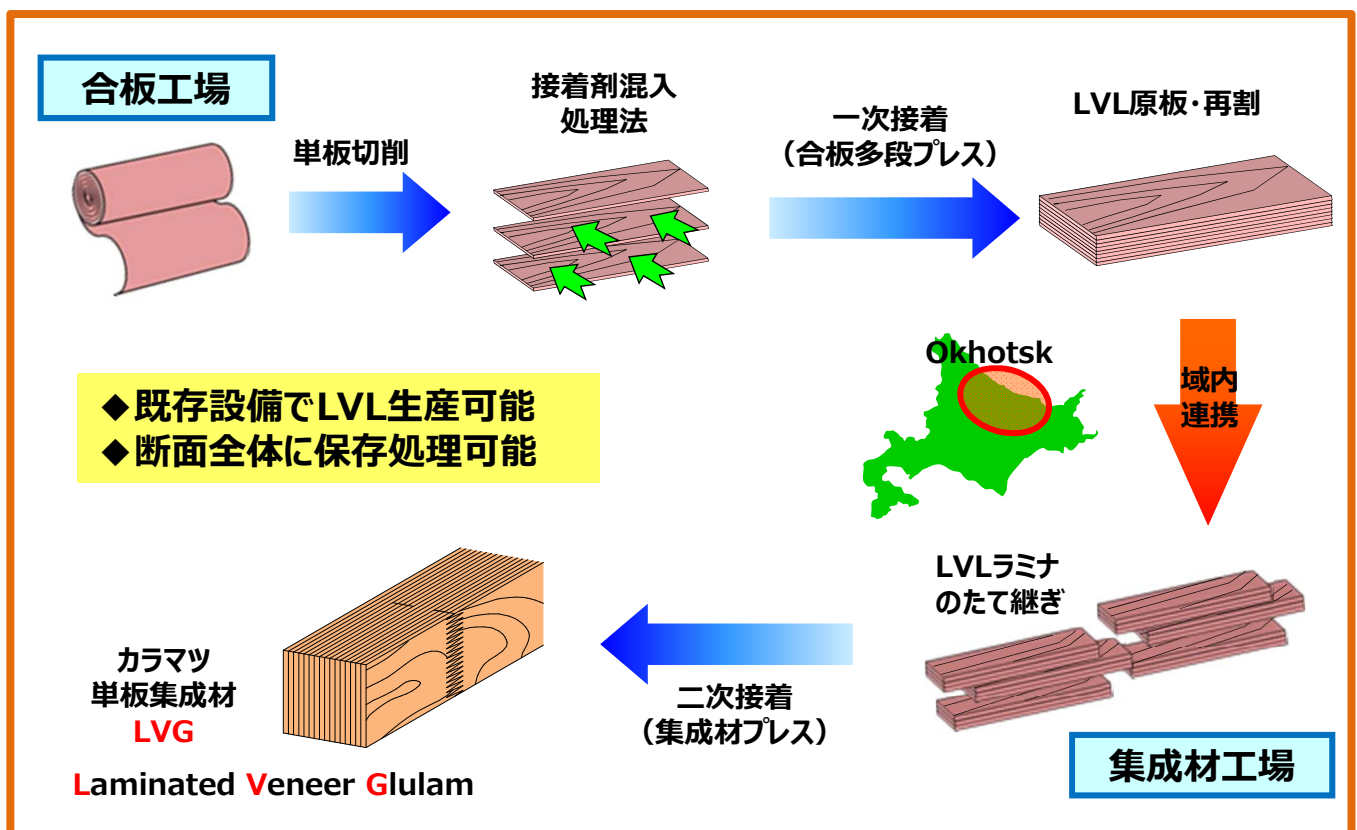
カラマツの難浸透性

単板集成材LVG

- ◆そこで、道産カラマツの難注入性を克服しながら、保存性能と強度性能の高い土台部材を製造する方法として、接着剤混入処理法を用いた単板積層材（LVL）に着目しました。
- ◆この方法は、単板の積層接着に保存剤を混合した接着剤を用いるもので、新たな設備投資を必要とせずに合板生産ラインで対応可能であり、熱圧時に薬剤が単板の裏割れを通じて内部に拡散すること、断面全体に均一に保存性能を付与することが期待されます。
- ◆しかしながら、従来の構造用LVLを製造する方法では、高い強度と長尺材を得るために、単板を1枚ずつたて継ぎし、その継ぎ目を分散させながら積層するため、長大な専用装置と巨額の設備投資が必要です。そのような設備を有する工場は北海道に無く、国内でも3か所ほどしかありません。
- ◆合板工場では単板継ぎ目のないLVLを製造し、裁断したものをラミナとして集成材工場にてたて継ぎ、集成加工を行えば、道内でも、新たな設備投資を必要とせずに、十分な強度性能を持つ構造用LVLの製造が可能となります。
- ◆本研究では、道内の合板工場と集成材工場が連携して、従来のLVLとは異なる新しい製造方法（下図）を確立しながら、住宅土台用部材「単板集成材」を開発しました



従来のLVL専用装置



カラマツLVGの生産システム

2. LVGの特徴

優れた強度性能

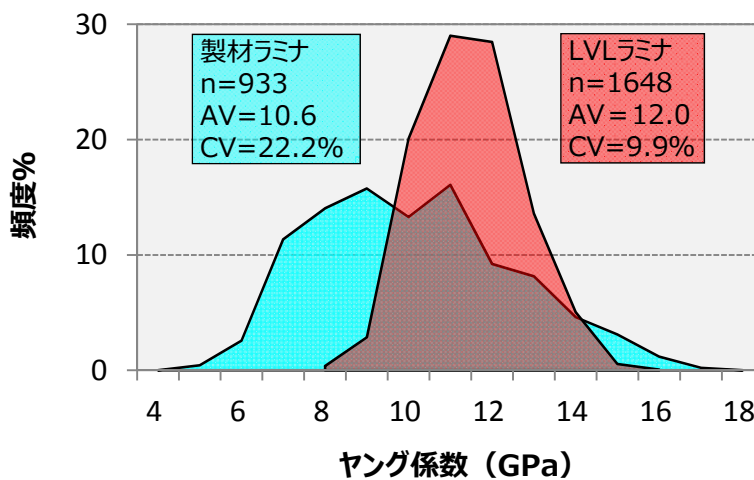
- ◆ LVGは、積層効果によりバラツキが小さく抑えられるとともに、単板の接着補剛効果により、製材よりも高いヤング係数が得られます。
- ◆ 加圧注入処理材では、インサイジングによる強度低下が1割ほど生じますが、LVGではそのような強度低下がありません。
- ◆ LVGのめり込み強さは広葉樹と同等以上に高く、構造計算を行う木造住宅や中大規模木造建築物の土台として有用です。また、めり込み防止金物のような対策を軽減できます。



加圧注入処理の
インサイジング加工



めり込み防止金物



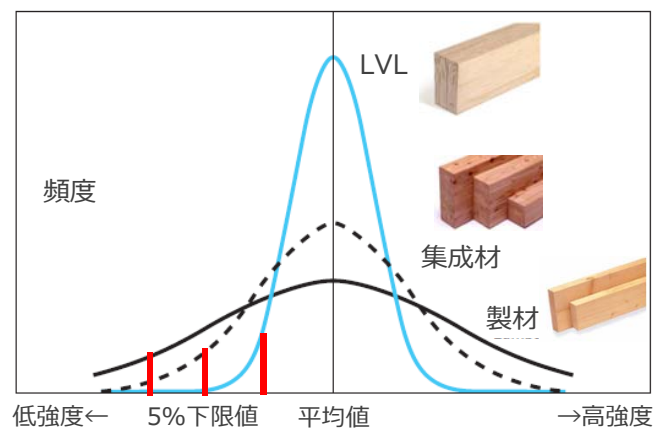
カラマツ製材とLVLのヤング係数分布

人工林材の有効利用策

- ◆ LVGは、単板を積層接着するため、丸太からの生産歩留まりが50-55%と高く、集成材（同30-35%）よりも効率的に製造が可能です。
- ◆ エLEMENTが薄い単板であり、節などの欠点が分散されることから、未成熟材と節等の欠点を含む人工林材でも、高性能な構造材料を製造できます。



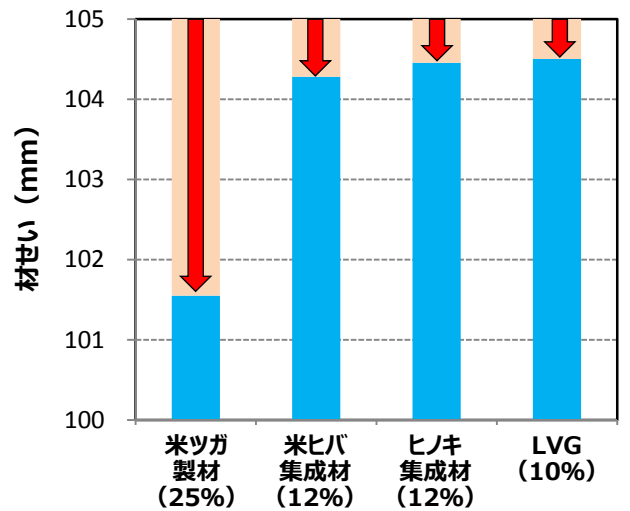
人工林材による効率的な単板製造



構造材料各種の強度分布のイメージ

優れた寸法安定性

- ◆LVGは、単板製造時に絶乾近くまで含水率を下げるため、製品の含水率が8-10%と低く、施工後に乾燥進行による寸法収縮のおそれなく、建物の不陸や部材の沈下、建具開閉の不具合、内装仕上げの不具合などが生じるリスクが少ない材料です。右図はそれぞれの土台製品105mm角が初期含水率から8%に低下したときの材せいの実験値です。
- ◆仮に、施工後に吸湿環境となっても、LVGは単板乾燥時や熱圧時の熱履歴により吸湿しづらくありません。例えば、20℃・RH90%の高湿度環境で2か月放置しても、含水率は11~12%にとどまっております。吸湿による寸法変化が少ない材料と言えます。



※カッコ内は初期含水率

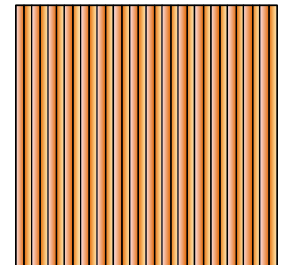
含水率8%に低下したときの材せい

効果的な薬剤処理

- ◆カラムツは難浸透性の樹種であり、水溶性薬剤の加圧注入では十分な浸透が得られません（右写真）。一方、接着剤混入処理法では接着層に含まれる薬剤が隣接する単板へ浸透し、断面全体に均一に保存性能を付与することが期待できます。
- ◆接着剤混入処理法は、合板工場において単板積層の接着剤に薬剤を混入・塗布するものであり、新たな設備導入を必要とせずに実施可能です。
- ◆使用した薬剤は防腐成分として加圧注入用薬剤にも用いられているトリアゾール化合物であるテブコナゾールの他に同じくトリアゾール化合物であるトリアジメフォンを含んでいます。また、防蟻成分として加圧注入用に用いられているネオコチノイド化合物のイミダクロプリドを含んでいます。



カラムツの難浸透性



均一な薬剤処理のイメージ

高い安全性

- ◆使用する薬剤の有効成分のうち、テブコナゾールやイミダクロプリドはすでに日本木材保存協会の認定を受けており、その安全性が高いことが確認されています。また、トリアジメフォンは認定薬剤には用いられていませんが、海外の規格では採用されている有効成分であり、様々な試験データからその安全性が高いことが確認されています。
- ◆LVGのホルムアルデヒド放散量については、105mm角の試験体（長さ107mm、4体、木口を被覆）で試験を行ったところ、平均値0.07mg/L、最大値0.09mg/Lとなり、それぞれJAS基準値（平均値が0.3mg/L以下、最大値が0.4mg/L以下）をクリアし、F☆☆☆☆に相当することが確認されています。



ホルムアルデヒド放散量試験

3. LVGの用途と使用環境

LVGの用途

- ◆ LVGは、めり込み強度や寸法安定性に優れ、断面全体に均一な保存性能を有することから、耐用年数の長い木造住宅や大規模・中高層の公共木造建築物における土台としての利用を想定しています。



木造住宅



大規模建築物

土台がおかれる環境

- ◆ 木造住宅においては、土台は地盤やコンクリート基礎に近い、閉鎖的で断続的に湿潤な環境に設置されます。そのため、腐朽や蟻害の一因となる木質部材への水分の供給が起こりやすく、発見もしづらい環境と言えます。右図は北海道内の木造住宅内の温湿度測定例ですが、1階床下空間では夏季に相対湿度が80～90%に達します。
- ◆ また、木質部材への水分の供給はそのほかに、雨水や生活用水の漏水、結露水など、施工や設計の不具合による事故的・突発的な水がかりも想定されます。これらの水分供給が、断続的・継続的に行われると、木質部材は劣化を生じやすくなります。

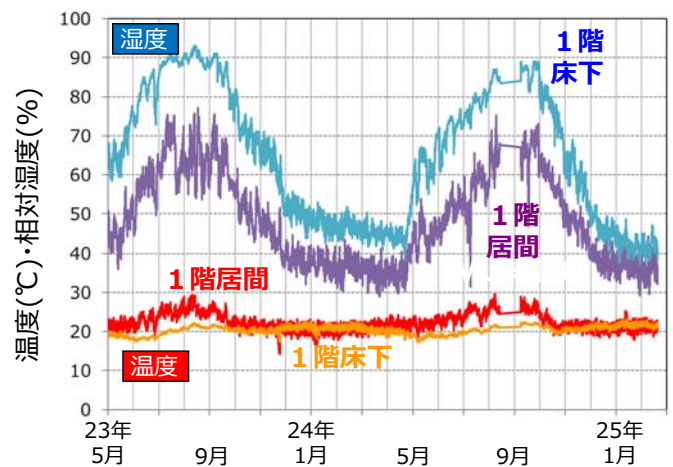


図2 住宅内部の温湿度変動（旭川）

劣化の要因

- ◆ 木質部材の劣化現象には、風化や摩耗などの物理的劣化と、腐朽や虫害（蟻害）などの化学的・生物的劣化があります。
- ◆ 腐朽や蟻害は、条件さえ整えば比較的短期間で木質部材に致命的なダメージを与え、住宅の構造安全性の低下を招く場合があります。
- ◆ 腐朽はキノコ（担子菌）や一部のカビなど（以下、「腐朽菌」と総称）によって、蟻害はシロアリによって引き起こされます。
- ◆ 腐朽菌やシロアリは、適度な温度と水分および酸素の3条件が整えば木材を劣化させることができます。このうち、温度や酸素は人間が生活していく上で必要な条件とほぼ同様のため、水分のみが制御可能な条件となります。しかし、突発的な水がかりが発生することも想定されることから、フェールセーフとして保存処理などによりこれらの生物による劣化を制御する必要があります。



腐朽した木材



蟻害を受けた木材

土台の劣化対策

- ◆ 建築基準法施行令では土台を含む構造材料について、以下の措置が求められています。
 - ◎ (令第37条)「構造耐力上主要な部分で特に腐食、腐朽又は摩損のおそれのあるものには、腐食、腐朽若しくは摩損しにくい材料又は有効なさび止め、防腐若しくは摩損防止のための措置をした材料を使用しなければならない。」
 - ◎ (令第49条)「構造耐力上主要な部分である柱、筋かい及び土台のうち、地面から1 m以内の部分には、有効な防腐措置を講ずるとともに、必要に応じて、しろありその他の虫による害を防ぐための措置を講じなければならない。」
- ◆ 住宅の品質確保の促進等に関する法律（品確法）では、防腐措置やシロアリに対する措置について「劣化の軽減対策等級」（劣化等級1～3）ごとに「措置」に関する基準を設けています（下表）。等級3は3世代、等級2は2世代、等級1は1世代（25～30年）にわたる劣化軽減策がなされているものとされます。

| 劣化等級 | 土台に対する要求項目 |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3 | 土台については次のうちいずれかに相当すること (i) K 3 相当以上の防腐・防蟻処理（北海道又は青森県の区域内に存する住宅にあっては、構造用製材規格等に規定する保存処理の性能区分のうち K 2 以上の防腐処理〔日本工業規格 K 1570 に規定する木材保存剤又はこれと同等の薬剤を用いた K 2 以上の薬剤の浸潤度及び吸収量を確保する工場処理その他これと同等の性能を有する処理を含む〕）が施されていること。 |
| 2 | (ii) 構造用製材規格等に規定する耐久性区分 D 1 の樹種のうち、ヒノキ、ヒバ、ベイヒ、ベイスギ、クリ、ベイヒバ、タイワンヒノキ、その他これらと同等の耐久性を有するものに区分される製材又はこれらにより構成される集成材等が用いられていること。 (iii) (i) 又は (ii) に掲げるものと同等の劣化の軽減に有効な措置が講じられていることが確かめられたものであること。 |
| 1 | 令第37条、令第49条および令第80条の2（枠組壁工法の構造方法に関する告示のうち躯体等の劣化軽減に係るものに限る）の規定に適合していること。 |

- ◆ 劣化等級3および2で必要とされる「K3（またはK2）相当の防腐・防蟻処理」とは、製材の日本農林規格（JAS）において加圧注入処理材を対象にした性能区分を意味します。この性能区分にはK1～K5の5段階が設けられており、K5が最も高い性能区分になります。
- ◆ 一方、製材以外の集成材や単板積層材のJASでは防腐・防蟻処理に関する基準が一切なく、接着剤混入処理法も認められていません。そこで、JASで認められていない集成材や単板積層材、JASで認められていない薬剤または方法で処理された材料について、「有効な措置が講じられている」ことを認証する制度として、(財)日本住宅・木材技術センターのAQ認証があります。
- ◆ しかし、本開発製品のLVGで使用する、従来よりも効果的な防腐・防蟻剤は、AQ認証の指定薬剤ではないため、現状では直ちに認証を取得することができません。そこで、実用に向けては、(iii)に相当する「有効な措置が講じられている」ことを示すデータ、すなわち、製材JASの認定薬剤がクリアしているJIS K1571に基づく性能試験のデータが必要になります。

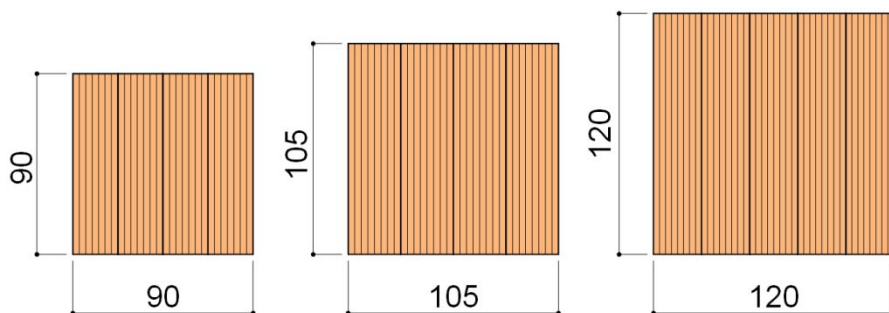
4. LVGの製造方法

製品概要

- ◆「単板集成材」は、中高層・大規模建築の土台部材としての利用を想定しています。薬剤処理により防腐・防蟻性能を高めつつ、広葉樹なみのめり込み強度に優れた土台部材となります。
- ◆樹種は北海道産カラマツ、断面種類は90・105・120mm角の3種類、LVLラミナの積層数は4-5枚、製品長さは2.4m～9mまで可能です。
- ◆めり込み特性が有利となるように、縦使い（接着層が鉛直方向）としています。



単板集成材LVG

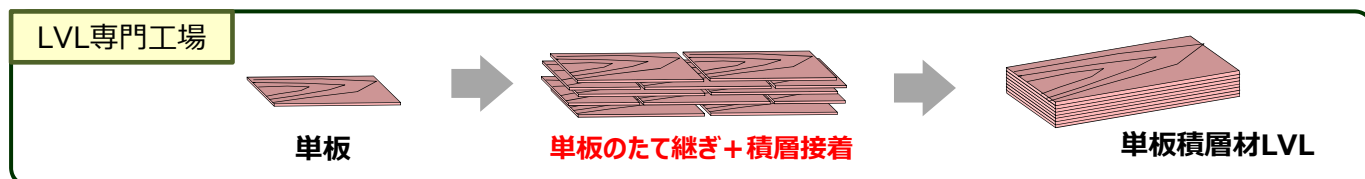


製品の種類と断面形状

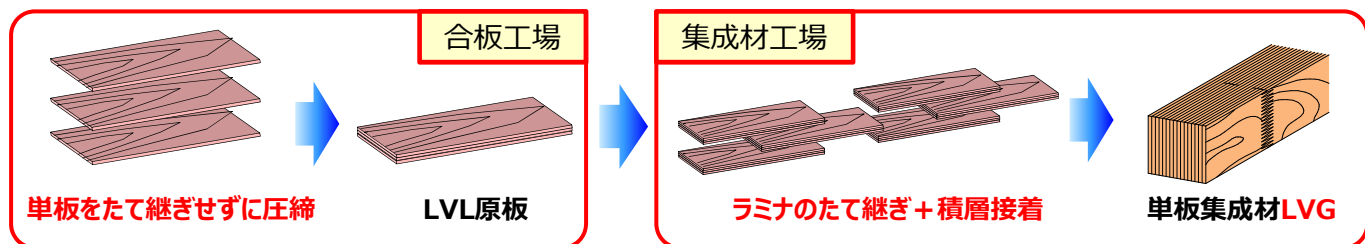
製造工程

- ◆従来の単板積層材のJASに適合するLVLは、単板をたて継ぎしながら、長尺の軸材料を製造するものです。製造にはLVL専用の大規模な製造装置が必要となり、国内数カ所にしかなく、道内にはありません。
- ◆一方、「単板集成材」では、合板工場の合板装置でたて継ぎのないLVLラミナを製造し、それらを集成材工場の集成材ラインでたて継ぎ・積層して軸材料を製造します。既存の合板工場と集成材工場の連携により、新たな設備投資を要せずに、高性能なエンジニアードウッドが製造可能となります。

【従来のLVLの製造工程】



【今回の「単板集成材」の製造工程】



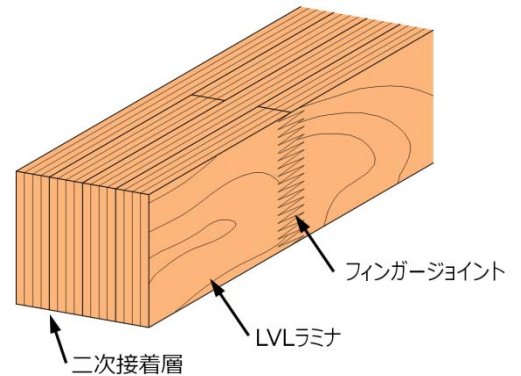
単板集成材LVGと単板積層材LVLの製造方法の違い

LVG = 37条認定 ≠ JAS

- ◆ 現行の構造用単板積層材のJASでは、LVLラミナをたて継ぎする方法は認められておらず、また、集成材のJASでは、LVLラミナの使用が認められておらず、LVGはいずれのJASにも該当しません。
- ◆ 構造材料として利用を進めるためには、建築基準法第37条による大臣認定を取得する必要があり、安定的な品質管理体制と様々な力学特性データの整備が求められます。

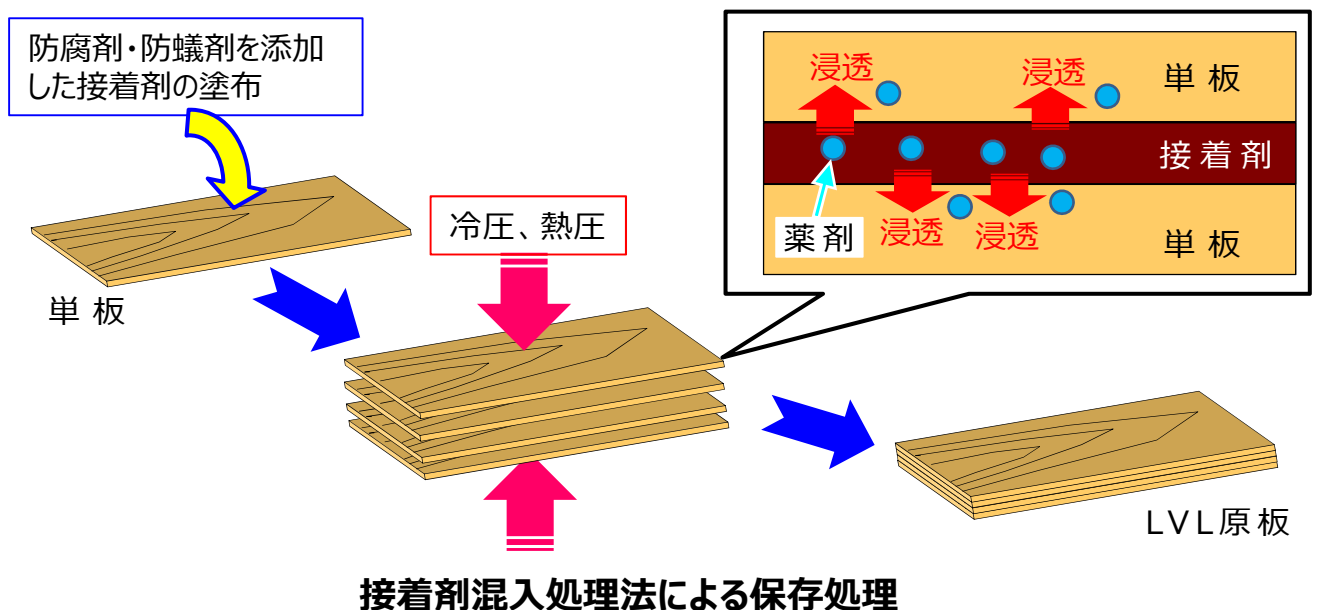
接着剤

- ◆ 接着剤は、単板相互の一次接着にはフェノール樹脂、LVLラミナ相互の二次接着およびたて継ぎ（フィンガージョイント）には水性高分子-イソシアネート系樹脂を使用しています。
- ◆ いずれの接着剤も構造用として十分な性能を有する製品を採用しています。



接着剤混入処理法

- ◆ 木材・木質材料の保存処理方法として、圧力により薬液を材中に注入する加圧注入処理法が主流です。しかし、カラマツなど難浸透性の樹種では十分薬剤を浸透させることができません。
- ◆ 一方、接着剤混入処理法は防腐剤や防虫剤などの保存薬剤を混入した接着剤を用い、冷圧・熱圧時にエレメントである単板へ浸透させる方法であり、既存の製造ラインに導入しやすい方法です。海外では有効な防蟻処理法として規格化もされています。
- ◆ 単板をエレメントとする合板やLVLでは、カラマツなど難浸透性の樹種においても単板に生じる裏割れを介して薬剤が浸透する可能性があり、薬剤が材料の断面全体に広がるのが期待できます。
- ◆ LVGで使用する薬剤については、接着性能や防腐・防蟻性能の評価にもとづいて、最適な防腐・防蟻剤を選択・使用しています。



5. LVGの接着性能

LVGの接着性能試験

- ◆ 単板積層材のJASにおいて、接着性能は浸せきはく離試験と水平せん断試験の要件を満たす必要があります。住宅の土台等の断続的に湿潤状態となる環境では、冷水浸せき処理と煮沸処理後の接着層のはく離長さによって合否が判定されます。
- ◆ LVLラミナの浸せきはく離試験の結果、薬剤を添加した場合は添加しない場合よりも長い熱圧時間が必要であることがわかりました（下図）。

冷水浸せき処理

室温水中に4時間

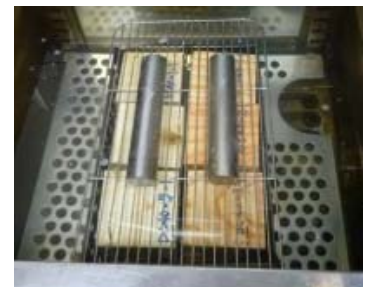
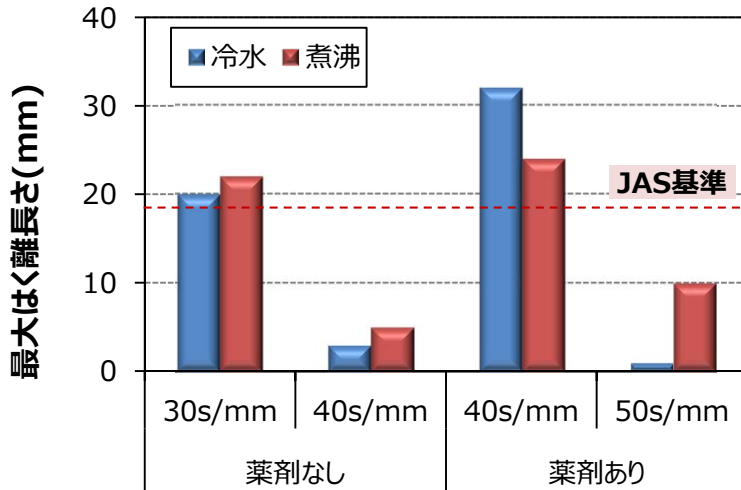
70℃で乾燥

煮沸処理

沸騰水中に4時間

室温水中に1時間

70℃で乾燥



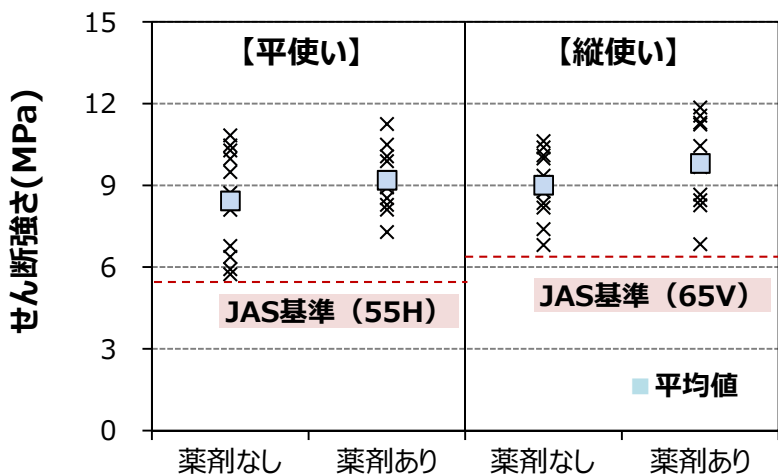
冷水浸せき処理



接着層のはく離

試験体のはく離の例

- ◆ 水平せん断試験では、JAS基準（65V-55H）を十分満足する性能が得られました（下図）。



※熱圧時間はいずれも40s/mm



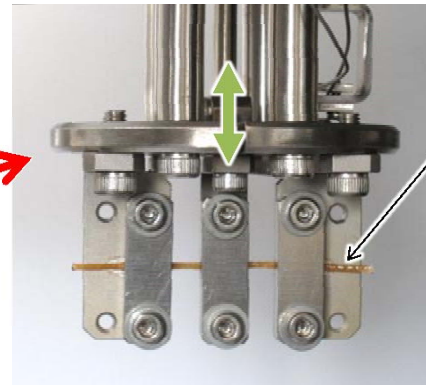
水平せん断試験

木材保存剤を添加した接着剤の硬化

- ◆木材保存剤を添加した場合、熱圧時間を延長しなければなりません。
- ◆その原因を検討するために、薬剤を添加した接着剤が硬化する過程における“硬さ”の変化を動的粘弾性測定装置を用いて調べました。



動的粘弾性測定装置

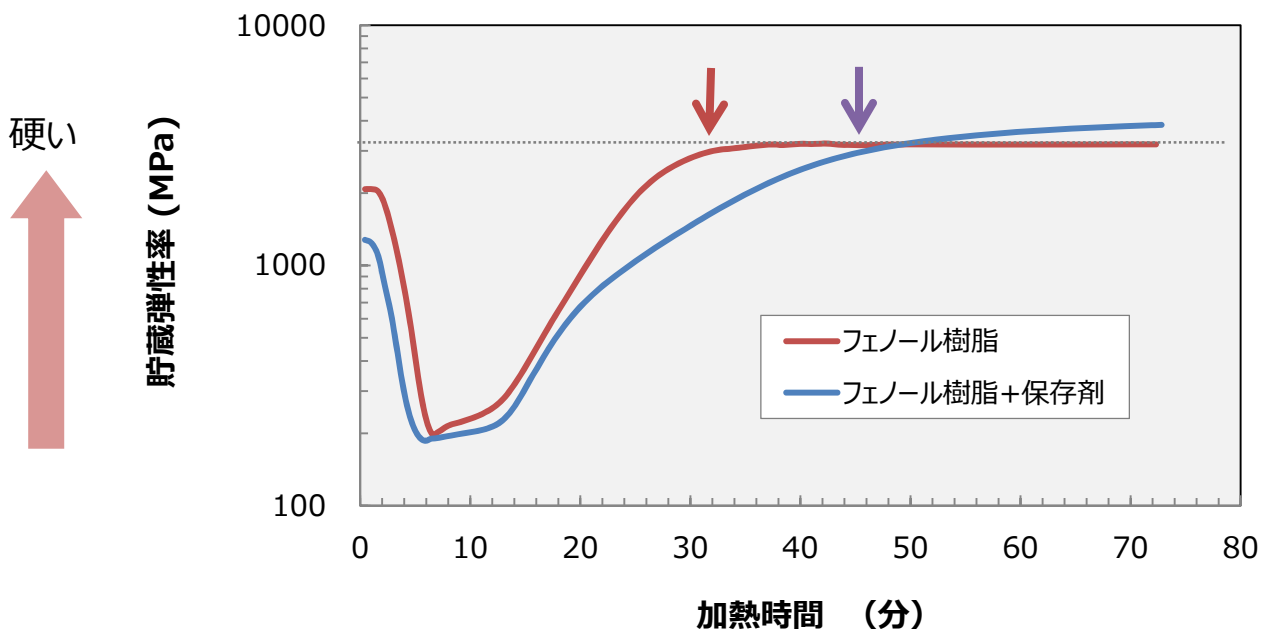


サンプル（接着剤をガラス繊維に含浸させたもの）

測定部内部：加熱しながらサンプルの「硬さ」を測定します。

- ◆その結果、木材保存剤を添加すると接着剤の硬化は遅延されることがわかりました（下図）。これは、保存剤に含まれる溶剤の影響であることがわかりました。

Gが一定値に到達した付近で硬化が十分に進んだと考えられます（↓ ↓）。接着剤に保存剤を加えると、一定値に到達する時間が遅れたことから、硬化が遅延されたことが伺えます（↓）。



保存剤を加えたフェノール樹脂の硬さの時間変化（110℃で加熱）

実大製品の接着性能

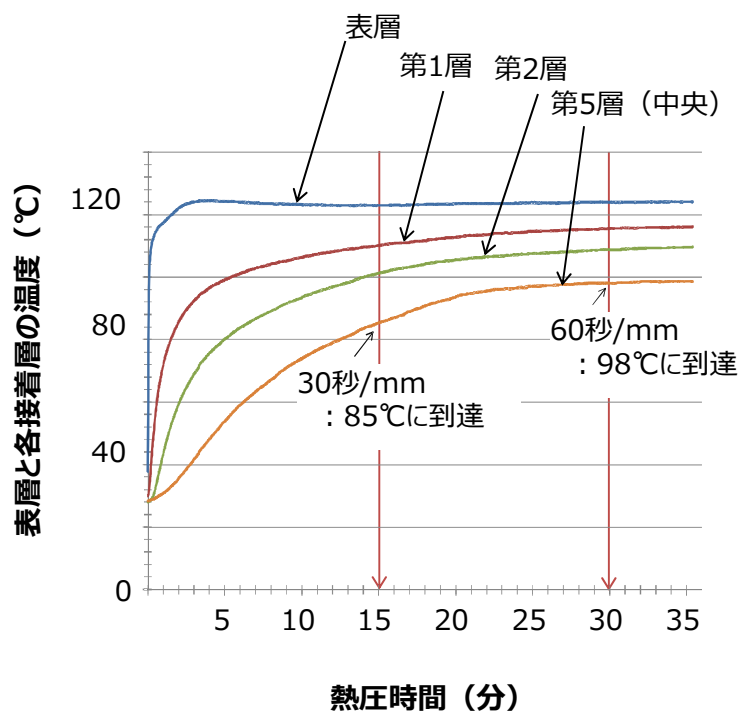
- ◆ 9 ページで紹介したLVLの接着性能試験の結果、JASの基準を満たさなかったLVLで発生したはく離は、主に中央付近の接着層で観察されました。
- ◆ LVLのような厚い材料を熱圧する場合、下図のように中央の接着層温度は遅れて上昇するので、内部まで十分に加熱するには、長時間を要します。そのため、加熱不足によって接着性能の低下が起こりやすくなります。



熱電対（接着層の温度を計測）



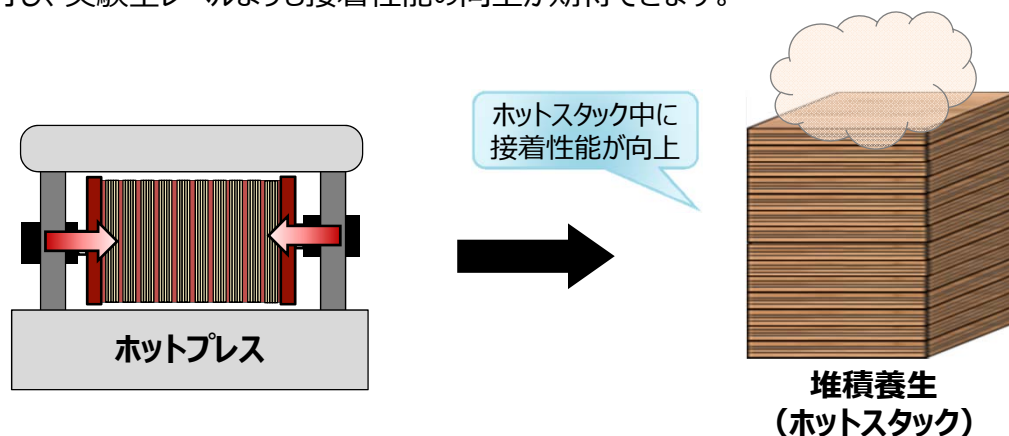
木材の断熱効果で熱が伝わりにくい



熱圧の様子とイメージ図

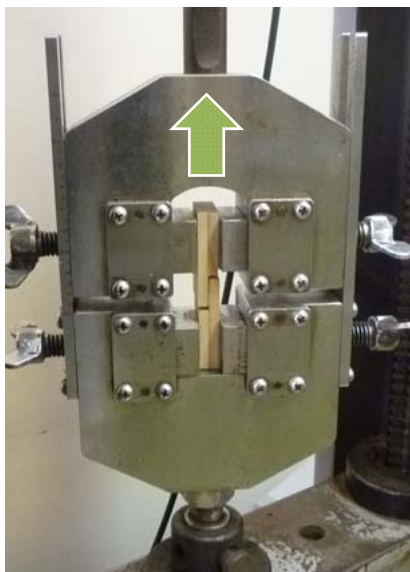
125°Cで熱圧したLVLの各接着層の温度変化

- ◆ 合板用ホットプレスを用いて、LVLを実生産する場合、熱圧直後に数十枚のLVL原板を堆積し、養生する工程があります。
- ◆ この工程により、LVLの各接着層温度は一定の時間、高温に保たれるため、フェノール樹脂接着剤の硬化が進行し、実験室レベルよりも接着性能の向上が期待できます。

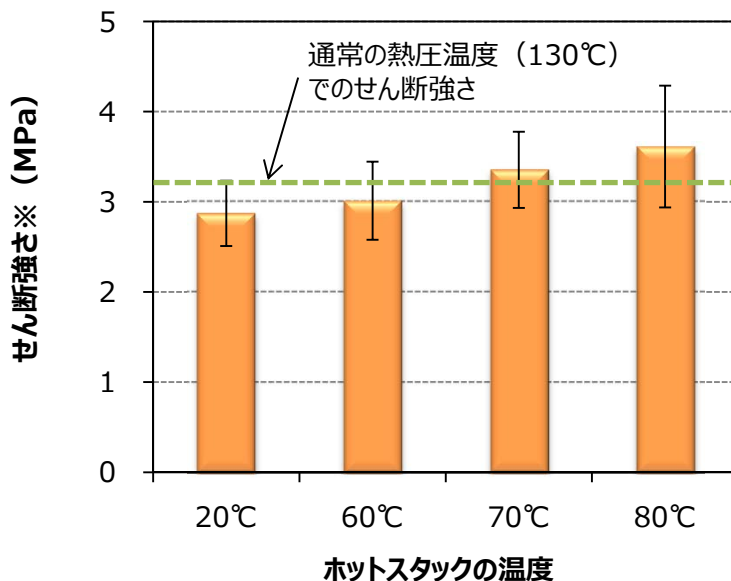


ホットスタックのイメージ図

- ◆ ホットスタックによって、接着性能がどのくらい向上するかを調べるために、熱圧中の内層の接着層温度を想定して80℃で熱圧した後、ホットスタックを想定して60～80℃で24時間堆積したときの接着性能を調べました。その結果、70℃以上でホットスタックした場合に、良好な接着性能が得られることがわかりました。



引張りせん断接着強さ試験

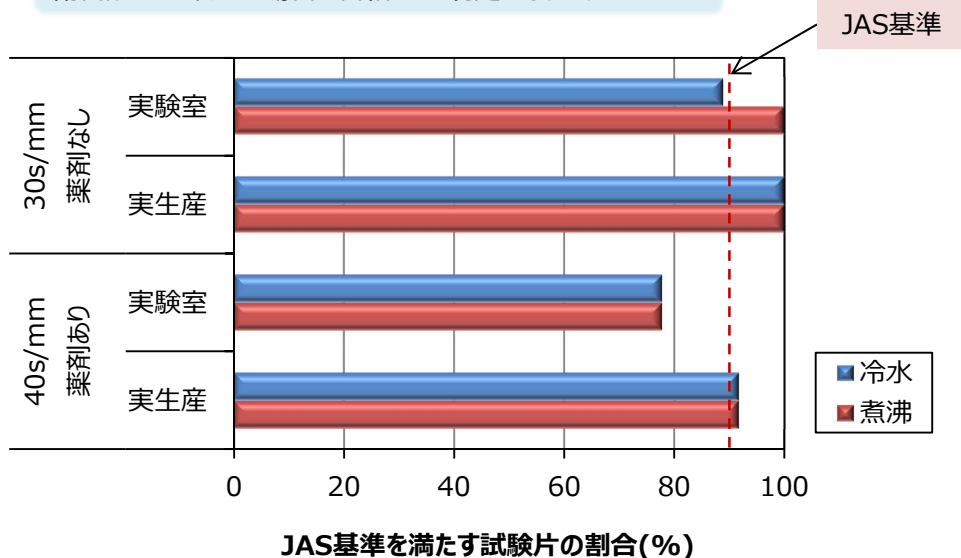


異なる温度で養生した時の接着性能の比較

※減圧加圧処理後にぬれた状態で測定したせん断強さ

- ◆ 熱圧時間40s/mmでLVLを製造した時のホットスタック中の接着層温度を測定した結果、24時間経過後も堆積中央部の温度は80℃以上の高温が保たれていることが確認されました。また、実生産されたLVLの浸せきはく離試験の結果、実験室レベルよりも接着性能が向上することがわかりました。

※LVLのJASでは、はく離長さの基準を満たす試験片の割合が90%以上の場合に合格という判定になります。



実験室と実生産でのはく離試験結果の比較

6. LVGの防腐性能

防腐性能試験

◆防腐性能の評価はJIS K1571に記載されている「防腐性能試験」に準じて行いました。まず、製造したLVGから2×2×1cmの試験体を切りだし、耐候操作（JIS K1571付属書A（規定）*）を施した後、培養瓶中で十分生育した木材腐朽菌（2種類：オオズラタケ、カワラタケ）に所定期間（12週間）暴露しました。暴露した後、試験体を回収し、暴露前と暴露後でどれだけ質量が減少したか（質量減少率（%））で防腐性能を評価しました。なお、質量減少率は（暴露前の質量-暴露後の質量）／暴露前の質量×100で求めました。

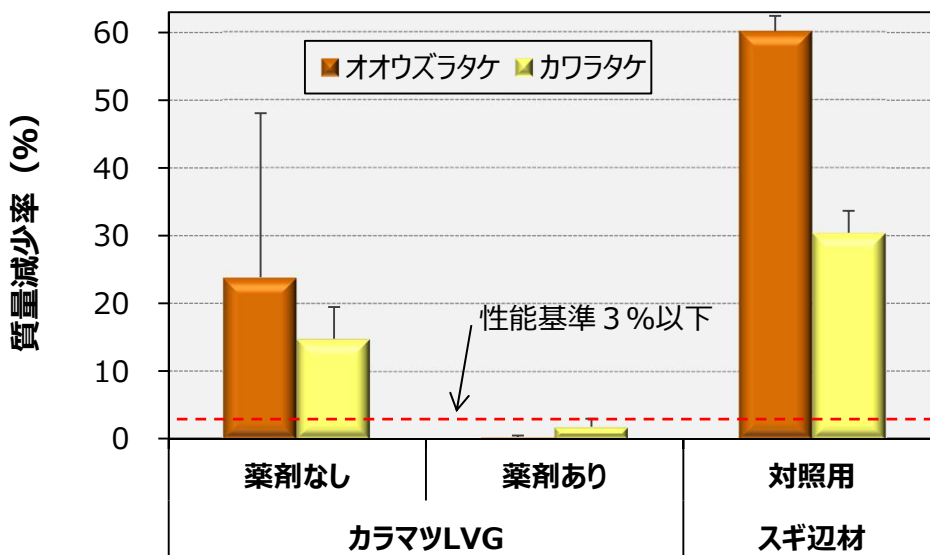
* 屋根、外壁板などによって風雨から遮断され、かつ、地面に直接接しない建築用木材のように、通常、水分の供給される可能性は少ないが、突発的に高湿度の環境下に置かれる可能性のある木材を想定したもの



- ①培養瓶中で。木材腐朽菌が十分に生育した様子。
②、③腐朽菌が十分に生育した培養瓶に試験体を暴露した様子。

LVGの防腐性能

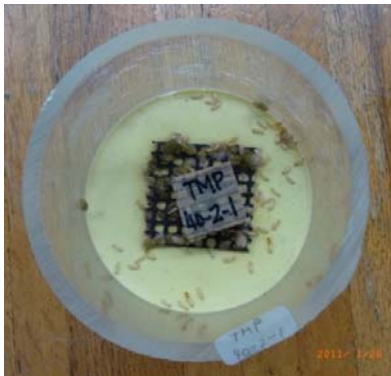
- ◆12週間腐朽菌に暴露した試験体の質量減少率を下図に示します。スギ辺材は、腐朽菌の活性を調べるためのもので、その質量減少率から十分な活性があり試験が成立していることが確認されました。
- ◆薬剤なしのLVGでは質量減少率が3%より大きくなり性能基準をクリアしませんが、標準添加量（防腐薬剤がLVG1m³あたり2.0kgとなる量）を接着剤に添加したLVGでは、両腐朽菌ともに質量減少率が3%以下となり性能基準をクリアしました。



7. LVGの防蟻性能

防蟻性能試験

- ◆ 防腐性能の評価はJIS K1571に記載されている「防ぎ（蟻）性能試験」に準じて行いました。製造したLVGから2×2×1cmの試験体を切りだし、耐侯操作（JIS K1571）を実施しました。規定の容器中に試験体を置き、イエシロアリの職蟻（150頭）、兵蟻（15頭）を投入し、28±2℃の暗所に静置しました（写真左）。21日間経過後、試験体を回収し、質量減少率により防蟻性能を評価しました。
- ◆ また、実験室レベルの試作品について、JIS K 1571による野外試験を実施しました（写真右）。



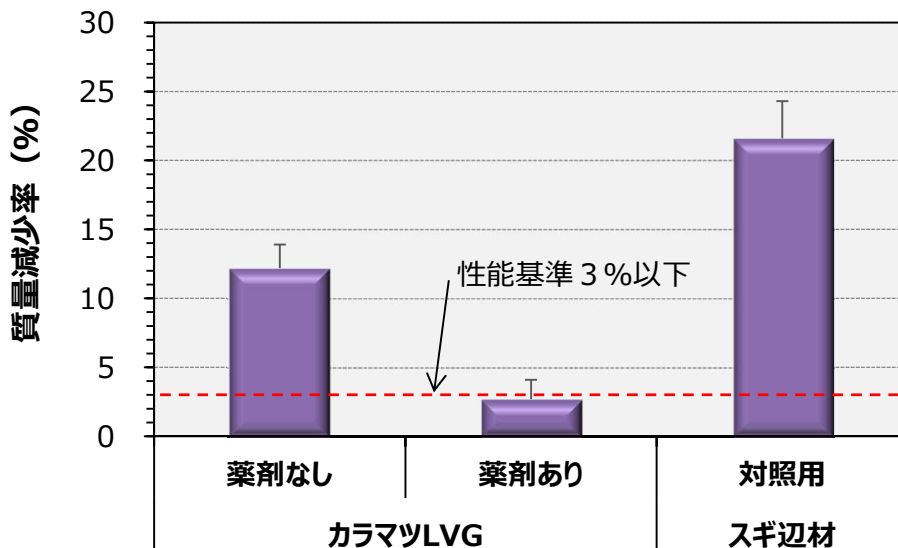
規定容器中の試験体と投入されたシロアリ



野外暴露試験の様子

LVGの防蟻性能

- ◆ 21日間シロアリとともに静置した試験体の質量減少率（%）を下図に示します。供試したシロアリの活性を調べるために用いたスギ辺材の質量減少率が15%以上であったことから、活性は十分であり試験が成立していることが確認されました。
- ◆ 薬剤なしのLVGでは質量減少率が3%より大きくなり性能基準をクリアしませんが、標準添加量（防蟻薬剤がLVG1m³あたり1.5kgとなる量）を接着剤に添加したLVGでは、シロアリによる質量減少率が3%以下となり性能基準をクリアしました。
- ◆ また、野外試験（JIS K1571）では、顕著な蟻害・腐朽は認められず、性能基準を満たしました。



薬剤なし 薬剤あり
3週間試験後のLVG

8. LVGの強度性能

試験体

- ◆道産カラマツ単板9～10枚を積層・再割したLVLラミナ（長さ2.4m）を縦継ぎして長さ4.7mのLVGを試作しました。LVLラミナは、縦継ぎ前にヤング係数によるグレーディングを行い、同一等級集成材のように同質ラミナを組み合わせました。縦継ぎ部は、隣接ラミナの縦継ぎ部が600mm以上離れるように、また一枚おきの縦継ぎ部がほぼ同位置となるように配置しました。
- ◆カラマツLVLラミナのヤング係数は9～16GPa（4ページのグラフ「カラマツ製材とLVLのヤング係数分布」を参照）となり、従来のカラマツ製材ラミナより高性能ですが、生産歩留まりと強度性能の確保しやすさを考慮して、ヤング係数が12GPa以上のラミナを除外してLVGを製造しました。すべての試験体は20°C・65%RHの恒温恒湿室で平衡状態に達してから供試しました

曲げ性能

- ◆曲げ試験体は長さ2360mmとし、LVG105mm角の試験体数は60体としました。比較として既製土台4種類についても10体ずつ試験しました。
- ◆曲げ試験は2160mmスパンの3等分点4点荷重により行い、曲げ強さと曲げヤング係数を求めました。
- ◆試験の結果、LVGの曲げヤング係数は概ねE105の集成材相当であること、LVGの曲げ強さはバラツキが小さいために下限値が有利となり、既製土台と同等かそれ以上となることが示されました。

曲げ試験結果



曲げ試験

| タイプ | 密度 kg/m ³ | ヤング係数 GPa | 曲げ強さ MPa | 含水率 |
|----------------------|-------------------------|--------------|----------------|-------|
| カラマツLVG 105mm角 | 550 | 10.5 | 39.2 (31.7) | 9.0% |
| ベイヒバ集成材 E105-F345 | 490 | 10.8 | 45.4 (31.3) | 11.8% |
| ヒノキ集成材 E105-F345 | 521 | 12.2 | 48.8 (33.3) | 12.5% |
| カラマツ集成材 E95-F270 | 553 | 10.1 | 38.0 (22.1) | 13.1% |
| ベイツガ製材 120E | 593 | 10.7 | 40.4 (27.7) | 37.1% |

※ 値は平均値、曲げ強さの下端カッコ内は統計的下限值（正規分布仮定における信頼水準75%の5%下限値）

せん断性能

- ◆せん断試験体は長さ1280mmとし、試験体数は60体としました。せん断試験は材せい×9倍に相当するスパンの3等分点4点荷重により行い、せん断強さとせん断弾性係数を求めました。
- ◆試験の結果、ほとんどの試験体が木部の曲げ破壊となりました。得られるせん断強さは本来のせん断強さより安全側となりますが、105mm角のせん断強さの平均値が3.9MPa、統計的下限值が3.2MPaとなりました。



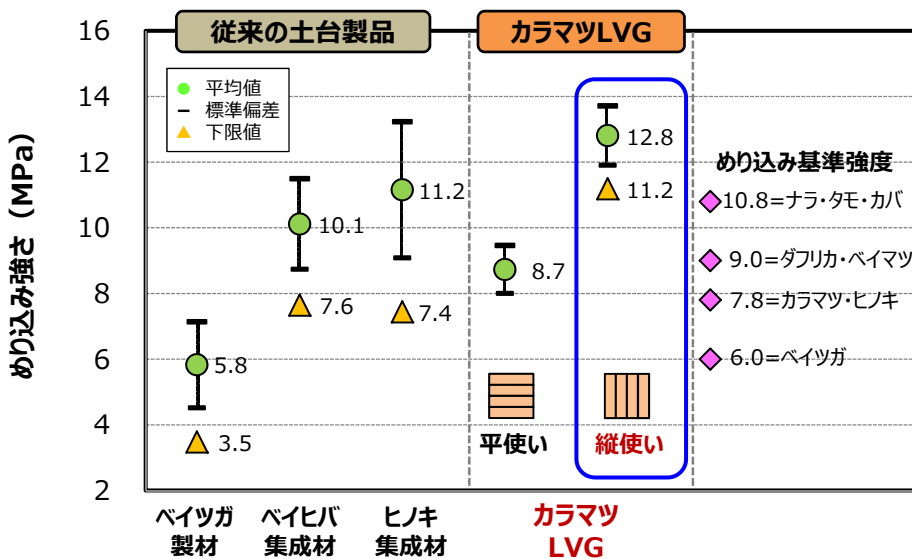
せん断試験

めり込み性能

- ◆めり込み試験体は長さ720mm、試験体数は60体としました。比較として既製土台4種類についても10体ずつ試験しました。
- ◆めり込み試験は加圧鋼板（長さ120mm）を長さ中央の上部に載せて加力を行い、底面は全面支持としました。めり込み量は加圧鋼板の2か所の平均変位量としました。めり込み強さは、めり込み量が材せいの5%に達した荷重を加圧面積で除した応力としました。
- ◆LVGのめり込み強さは、平使いより縦使いのほうが極めて高くなること、従来の土台製品よりも高くなること、下限値がナラ等の硬質広葉樹が属する樹種区分値（10.8）を上回ることが明らかとなりました。



めり込み試験



LVGのめり込み強さと従来製品との比較



めり込み破壊の様子

基準強度

- ◆今回試作したカラマツLVG（105mm角）の下限値と他のJAS製品の基準値を比較すると、曲げ性能については、構造用LVLでは100E-1級、構造用集成材では同一等級構成E105-F345と同程度であること、せん断強さについては、構造用LVLの45V-38Hと同程度で、構造用集成材のカラマツ樹種区分値より1割ほど低くなりました。
- ◆一方、土台として最も重要なめり込み強さについては、LVLと集成材ともにカラマツが属する樹種区分値に対して約1.4倍と高くなりました。

| Type | 曲げヤング係数 GPa | 曲げ強さ MPa | せん断強さ MPa | めり込み強さ MPa |
|-------------------|-------------|----------|-----------|------------|
| カラマツLVG（105mm角） | 10.5 | 31.7 | 3.2 | 11.2 |
| 構造用LVL（100E-1級） | 10.0 | 31.8* | 3.0 | 7.8 |
| 構造用集成材（E105-F345） | 10.5 | 32.8* | 3.6 | 7.8 |

※ LVGの統計的下限值：強度は正規分布仮定による信頼水準75%の5%下限値、曲げヤング係数は平均値、他構造材料の基準値：曲げヤング係数は木質構造設計規準より引用、強度は建築基準法(平成13年建告第1024号)より引用、

*印：材せい105mmに応じた寸法効果係数 K_2 を乗じた補正值（LVLでは木質構造設計規準より $K_2=1.15$ 、集成材ではJASより $K_2=0.96$ ）

強度性能へ及ぼす水分の影響

- ◆ LVGが住宅土台として実際に施工される場合、施工時に雨水等の水掛かりによって、一時的に高含水率となる場合や、竣工後に床下環境が高湿度状態になる場合などが想定されます。
- ◆ 告示では、このような使用環境の影響を明らかにするために、高湿度処理（20℃85%RH）および72時間の散水処理による劣化処理を行い、強度性能への影響を調べるのが要求されています。ここでは、より厳しい処理方法として、20℃90%RHにおける調湿処理および72時間の浸せき処理を行い、曲げ性能、せん断性能、めり込み性能への影響を調べました。
- ◆ 強度試験の結果（下図）、高湿度処理では、各特性値の残存率は0.85～1.00の範囲となり、めり込み強さへの影響がやや大きくなるのがわかりました。また、浸せき処理では、残存率は0.96以上となり、事故的水掛かりによって吸水しても、材料が乾燥されれば初期性能と同等になることがわかりました。

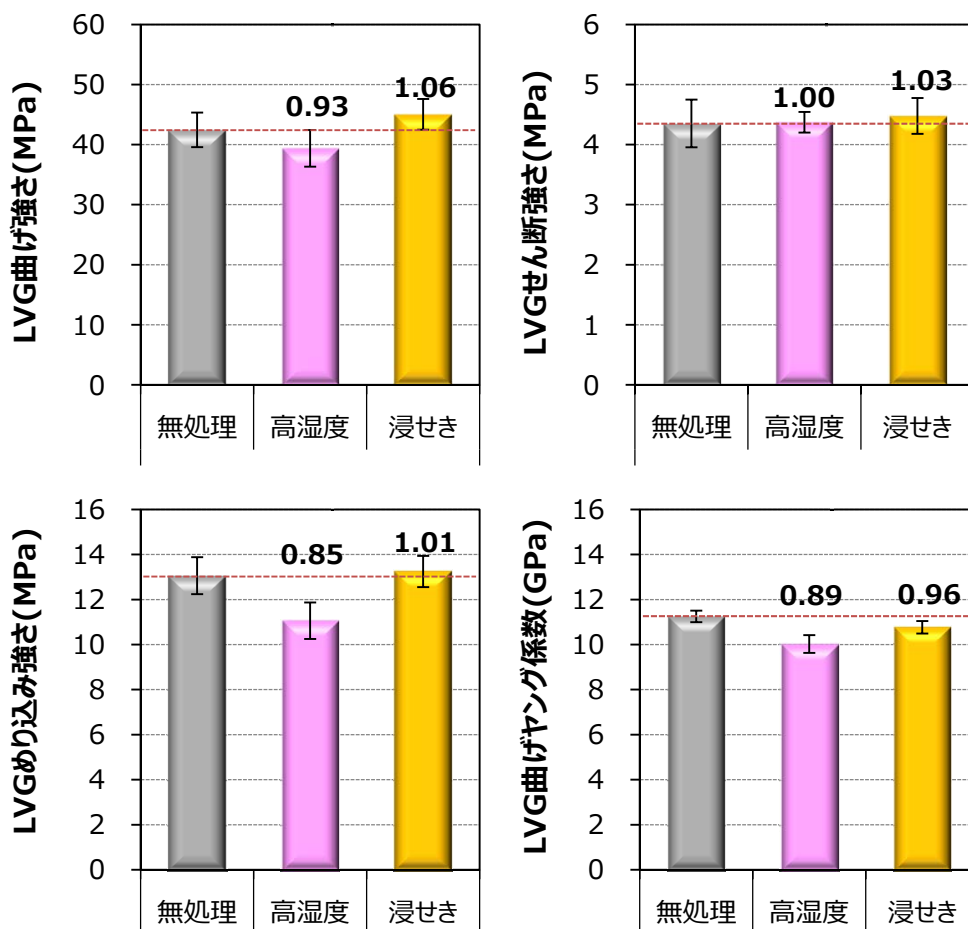


木造住宅床下の高湿度状態



施工中の雨水による水濡れ

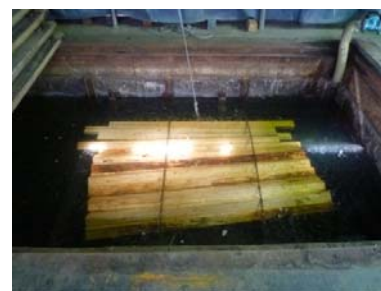
※図中の赤点線は無処理の平均値、数値は劣化処理による残存率（＝劣化処理の平均値／無処理の平均値）を示しています



劣化処理条件と各種強度性能



高湿度処理
(90%RHで吸湿)



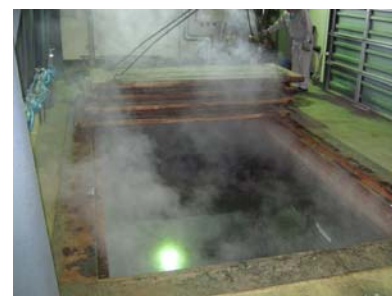
浸せき処理
(72時間水中浸せき)



実大強度試験を実施
(曲げ・せん断・めり込み
特性の残存率評価)

接着耐久性に関する強さの残存率

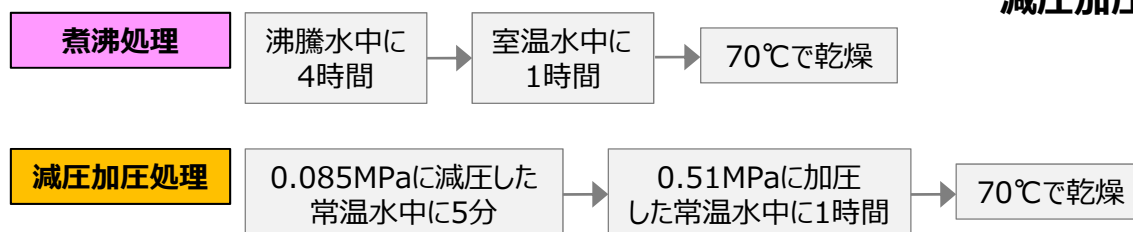
- ◆材料を長期間使用していくためには、接着剤の性能が使用環境に応じたものであることが非常に重要です。告示法においては、使用環境ごとに材料に劣化処理を施し、強度性能の残存率が一定の基準を満たすことが要求されます。
- ◆今回のLVGでは、耐久性が求められる接着強度としては、LVLラミナのフィンガージョイント部、LVLラミナの一次接着部およびラミナ相互の二次接着部があります。それらの接着耐久性を効率的に評価するべく、たて継ぎされたLVLラミナの曲げ試験、105mm角の半割製品の水平せん断試験を行い、劣化処理による強度への影響を調べました。
- ◆今回は、住宅の土台に該当する「断続湿潤環境」に求められる劣化処理として、以下に示す煮沸処理と減圧加圧処理を2回繰り返しを行い、接着部に関連する強度の残存率を算出しました。



煮沸処理

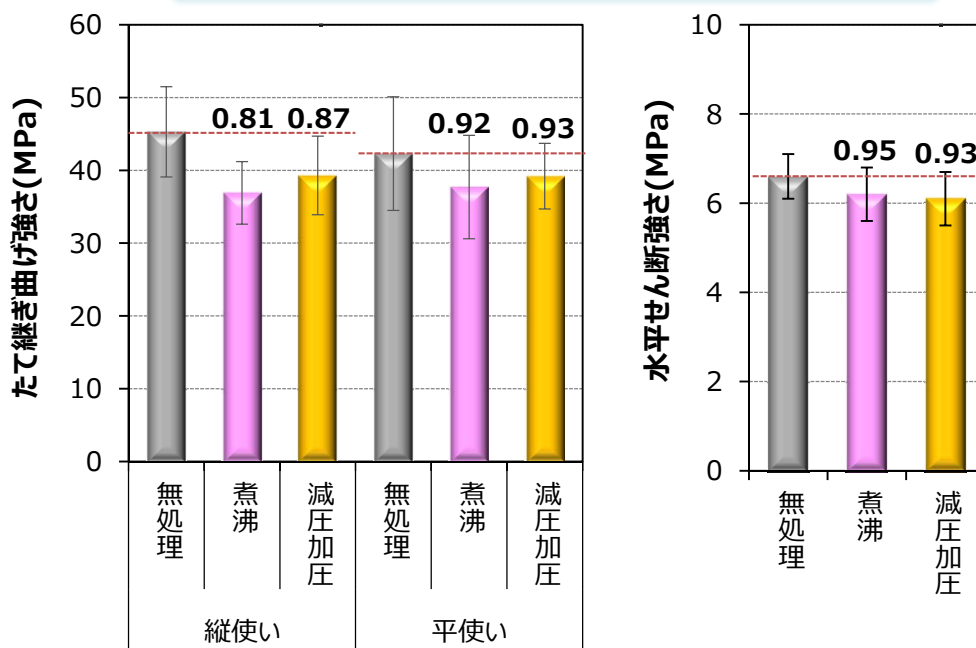


減圧加圧処理



- ◆強度試験の結果、曲げ強さ、せん断強さともに、告示で要求される残存率0.5以上であり、十分な接着耐久性を有することが確かめられました。

※図中の赤点線は無処理の平均値、数値は劣化処理による残存率 (=劣化処理の平均値/無処理の平均値) を示しています



たて継ぎ部曲げ試験



水平せん断試験

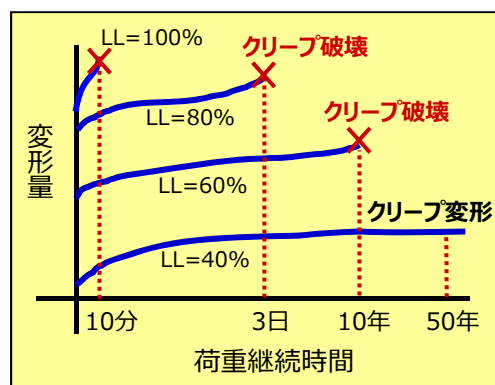
劣化処理条件と強度の残存率

クリープ変形特性とクリープ破壊特性

木材に荷重をかけ続けると時間の経過とともに変形が増大していきます。これはクリープ現象と呼ばれるもので、長期間にわたって荷重を受ける場合のたわみは、短期間でなたわみよりも大きく見積もる必要があります。また、荷重レベル（LL：短時間の実験で求める破壊強度に対する荷重の比）がある限度を超えるとクリープ破壊を起こすようになり、荷重継続時間が長くなると、より低い荷重でも破壊するようになります。

そのため、建築基準法ではクリープによる変形増大と荷重継続時間による強度の低下を考慮に入れた設計をするため、クリープおよび荷重継続期間の調整係数を定めることとしています。クリープの調整係数は、50年後の推定たわみに対する初期たわみの比で表わされ、一般的な木材の場合は0.5とされ、言い換えれば50年後のたわみが初期たわみの2倍になると想定されています。また、50年間荷重が継続した木材の強度は、短時間の実験で求める破壊強度の55%まで低下するものとみなして、荷重継続期間の調整係数を0.55としています。

ここでは、LVGのクリープ変形およびクリープ破壊特性を評価するために、長期荷重試験を行い、クリープの調整係数および荷重継続期間の調整係数を求めました。



荷重継続時間と変形の関係図

長期性能試験の概要

長期曲げ試験体は、長期荷重装置の加力容量により、105mm角の半割サイズ（50×105mm）としました。長さ2mの105mm角の単板集成材50体を半割りし、長期荷重用試験体と短期荷重用試験体に振り分けました。長期荷重用試験体50体のうち、クリープ試験には12体、長期荷重破壊試験（DOL試験）には38体を用いました。

長期試験は右図に示す長期載荷装置10台を用いて行いました。試験スパンは1800mm、3等分点2点荷重方式としました。載荷荷重の荷重レベル（マッチング試験体の平均破壊荷重に対する比）は、クリープ試験では0.40、DOL試験では0.70、0.80、0.90の3種類としました。クリープ試験では載荷から6週間までのスパン中央たわみを測定しました。DOL試験では載荷から破壊までの時間を計測しました。試験は、温湿度無調整環境下の林産試験場内実験棟にて実施しました。



長期荷重試験の様子



クリープ破壊の一例

長期性能試験の結果

クリープ試験で観測されたスパン中央たわみは、環境の温湿度の日変動に伴い細かな増減を繰り返しながら総体的には増加していきました。温湿度無調整環境下における試験では、このようなたわみの日変動が観察されるため、増減の日変動のピークがある日の最大値を選択し、クリープたわみ（経過時間ごとのたわみから荷重1分後のたわみを引いた値）と経過時間の両対数プロットで回帰計算した結果、たわみ実測値に対する回帰曲線の適合が良好となりました。クリープ試験の結果、クリープの調整係数は0.68となり、現行の許容応力度設計法の木材の値（0.5）を上回ることが明らかとなりました。

DOL試験の結果、荷重継続時間の調整係数（回帰直線上で荷重継続時間が50年に相当する応力レベル）は0.66となり、現行の許容応力度設計法の木材の値（0.55）を上回ることが明らかとなりました。

以上より、LVGの長期性能が従来の木材を上回り、長期設計上も有利となることが示されました。

クリープ試験の結果

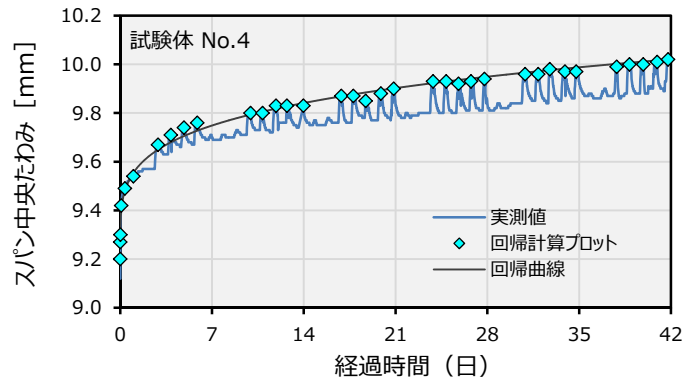
| 試験期間 | No. | d_{1min} | d_{50year} | d_{50year}/d_{1min} | K_{50year} |
|-------------------------------|-----|------------|--------------|-----------------------|--------------|
| 2012/10/6 ～ 2012/11/16 | 1 | 9.12 | 13.90 | 1.52 | 0.656 |
| | 2 | 8.78 | 13.52 | 1.54 | 0.649 |
| | 3 | 8.78 | 16.29 | 1.86 | 0.539 |
| 2012/11/16 ～ 2012/12/28 | 4 | 9.20 | 12.42 | 1.35 | 0.741 |
| | 5 | 8.99 | 13.05 | 1.45 | 0.689 |
| | 6 | 9.02 | 11.72 | 1.30 | 0.770 |
| 2012/12/28 ～ 2013/2/8 | 7 | 8.69 | 12.60 | 1.45 | 0.690 |
| | 8 | 8.54 | 11.77 | 1.38 | 0.726 |
| | 9 | 9.39 | 14.32 | 1.52 | 0.656 |
| 2013/2/8 ～ 2013/3/22 | 10 | 8.92 | 14.56 | 1.63 | 0.613 |
| | 11 | 8.40 | 14.31 | 1.70 | 0.588 |
| | 12 | 8.36 | 12.71 | 1.52 | 0.658 |
| 平均 | | 8.85 | 13.43 | 1.52 | 0.680 |

※ d_{1min} : 荷重1分後の中央たわみ (mm)
 d_{50year} : 50年後の中央たわみの予測値 (mm)
 K_{50year} : クリープの調整係数

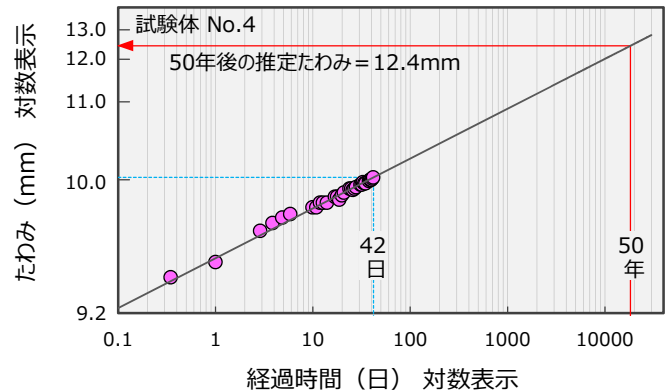
DOL試験の結果

| 応力レベル (実施数) | 荷重継続時間 |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------|
| 0.90 (10体) | 2.6分、2.7分、23.8分、32.4分 92.1分、14.7時間、1.4日、4.0日 11.2日、72.1日* |
| 0.80 (11体) | 2.0時間、5.4日、6.0日、6.5日 7.1日、11.9日、19.1日、27.8日 34.6日、41.0日、89.1日 |
| 0.70 (11体) | 1.9日、3.7日、32.7日、39.0日、54.5日 *72.1日*、80.7日、89.3日* 140日*、172日*、180日* |

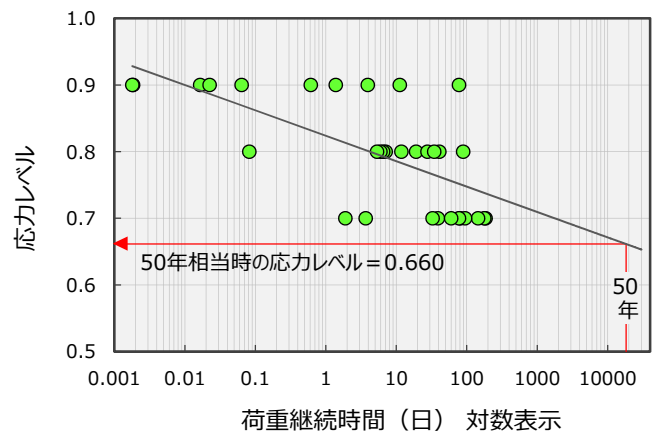
※ *印は2013年4月1日時点で未破壊の試験体



スパン中央たわみの実測値と回帰曲線の一例



クリープたわみと経過時間の両対数表示の一例



応力レベルと荷重継続時間の関係

9. LVGの接合性能

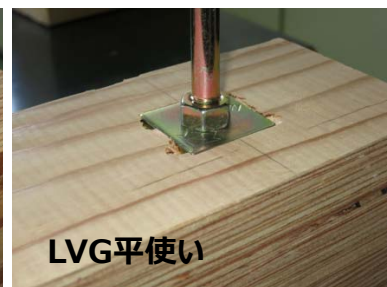
◆ここではLVGを土台材として用いた場合の接合性能を確認するために、105mm角の試験体を用いて座金のめり込み試験、金物接合部の引張試験、ビスの引抜き試験を行いました。

座金のめり込み試験

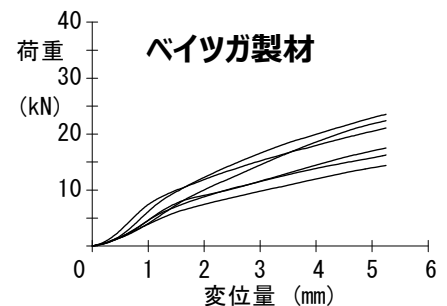
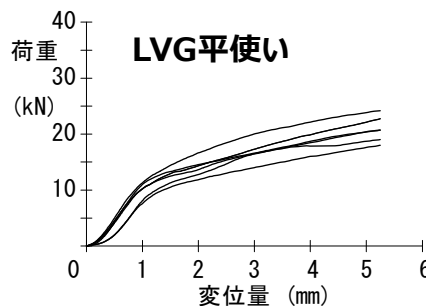
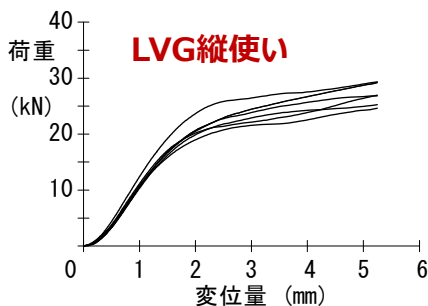
耐力壁が水平力を負担すると、一方の柱と土台の接合部には圧縮力、もう一方には引張力が発生します。その引張力によって、アンカーボルトで基礎と固定されている部分には座金のめり込みが発生します。そこで、座金のめり込み試験を行い、性能を調べました。使用した座金はZマーク表示金物のうち厚さ4.5×40mm角のもので、実際の施工と同様にボルト穴（直径13mm）を開けた状態で座金を配置し、毎分1mmで単調にめり込ませました。荷重とめり込み量を測定し、めり込み量が土台高さの5%（5.25mm）に至るまでのデータから、最大耐力、降伏耐力を計算しました。



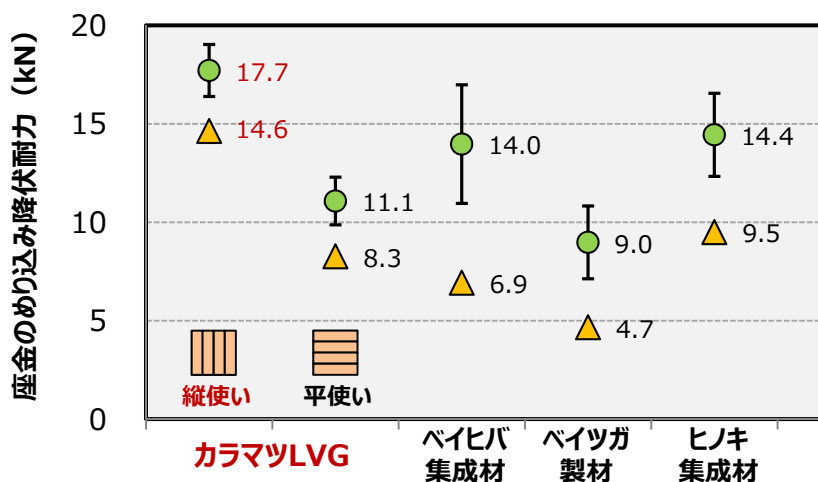
めり込み試験の様子



座金のめり込み状態



荷重とめり込み量の関係曲線



試験の結果、LVGを縦使いした場合の耐力は、最大耐力・降伏耐力とも他の材料を上回っており、高いめり込み性能を有していることが確認されました。

金物の引張試験

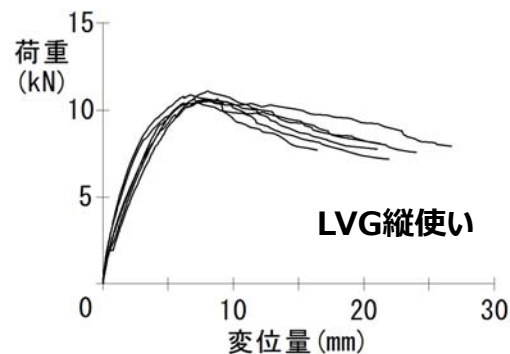
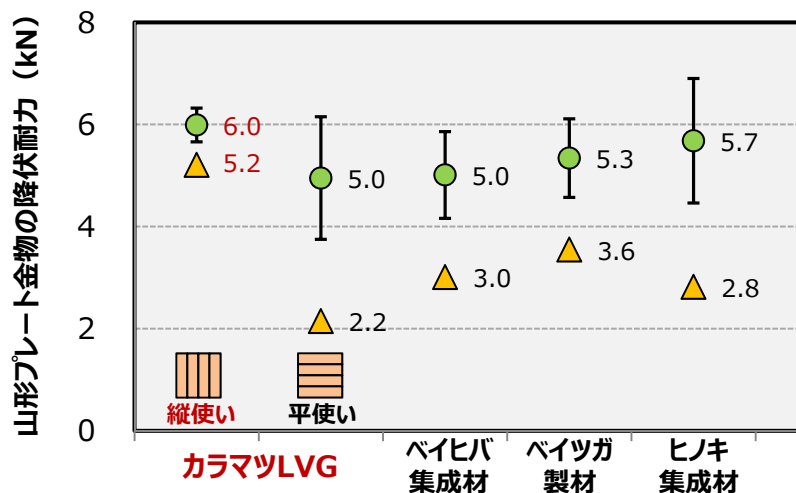
柱と土台の接合部は、建築基準法によって仕様が決めており、その仕様を満たす「Zマーク表示金物」が一般的に使用されています。ここでは、Zマーク金物を用いた土台接合部の引張試験を行いました。

使用した金物はZマーク表示金物のうちの山形プレートVPで、使用した釘はZN90です。柱脚に引抜き力が加わる状態を想定し、固定した試験体から金物を上方方向に毎分5mmで引っ張り、最大耐力と降伏耐力を求めました。

試験の結果、LVGを縦使いした場合、降伏耐力の平均値と下限値は高く、他の材料に比べてばらつきが非常に小さく、信頼性の高い材料と言えます。



金物引張試験



荷重と変形量の関係曲線

ビスの引き抜き試験

Zマーク金物と同等の性能を有する金物の中には、土台上面に金物をビスで固定するタイプがあります（右上写真）。そこで、土台上面に固定したビスに引抜き力が加わったときの性能を検証しました。

使用したビスはタナカTBA-65D（長さ65mm、頭部径9.3mm）で、有効打ち込み深さを40mmとしました。ビスの頭部を毎分2mmで引き抜き、最大耐力を評価しました（右中写真）。

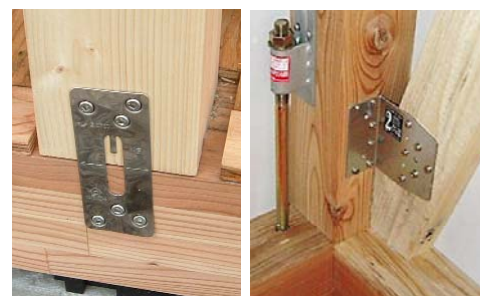
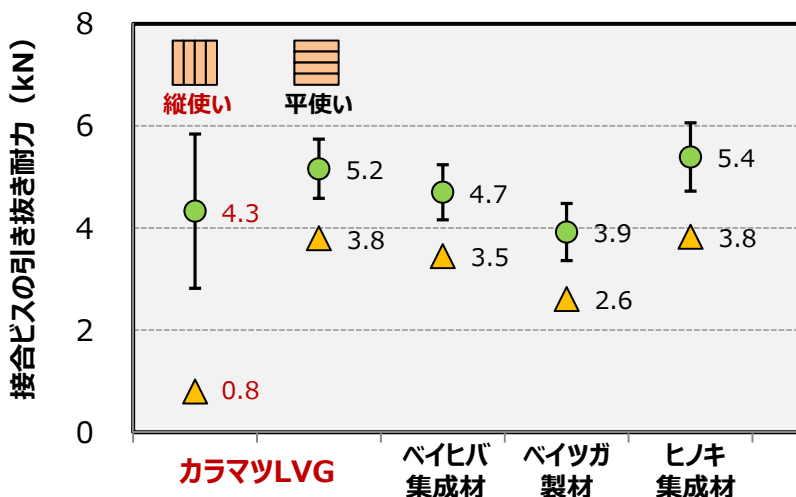
試験の結果、縦使いしたLVGの引抜き耐力は、他材料と比べて平均値はさほど変わらないものの、ばらつきが大きく下限値が低くなりました（下図）。従って、積層面にビスを固定して引抜き力に抵抗させる金物は避け、土台側面にビスを固定する金物あるいは積層面にビスを固定しない金物（右下写真）を選択することが望まれます。



土台上面で固定する金物の例



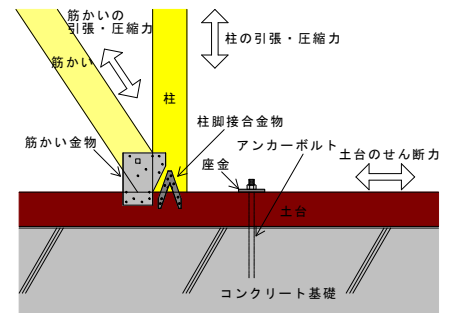
ビス引抜き試験



LVGに適した金物

10. LVG土台の構造設計

◆ 建物に加わる外力は、地震力や風圧力などの水平方向の力と、積雪や積載荷重などの鉛直荷重があります。これらの外力は、各階の耐力要素を伝わって土台に達し、さらに基礎として地盤へと流れます。したがって、安全な建物を設計するためには、土台の耐力や柱・筋かいとの接合部の性能を確認する必要があります。ここでは、「木造軸組工法住宅の許容応力度設計（2008年版）」（財団法人日本住宅・木材技術センター、以下グレー本）に準じた土台に関わる構造設計法を紹介します。



土台に作用する力

柱脚の引抜力による土台の曲げ（グレー本p.93）

柱脚と土台の接合部に引張力が作用すると、土台には曲げモーメントが生じます。このときの土台の曲げ応力度が、土台材の短期許容曲げ応力度を超えないことを以下の式で確認します。

$$T_a \cdot L_d / Z_d \leq_s f_b$$

ここで、

T_a : 柱脚と土台の接合仕様における短期許容引張耐力 (kN)

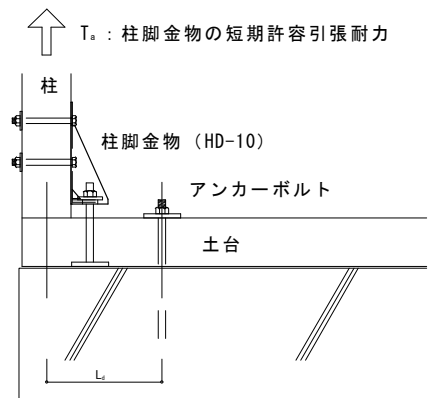
L_d : 柱心からアンカーボルトまでの距離 (mm)

Z_d : アンカーボルト部分の土台の断面係数 (mm³)

f_b : 土台材の短期許容曲げ応力度 (kN/mm²)

耐力が15kN以上のホールダウン金物は、アンカーボルトと直結する必要があるので、土台に曲げは加わりません。ここでは土台に曲げが加わる最大の引張耐力を有する10kN用ホールダウン金物を用いた接合仕様を対象として試算しました。

$Z_d = (105 - 14) \times 105^2 / 6 = 167212.5 \text{ mm}^3$, $f_b = 31.0 \times 2/3 = 20.6 \text{ N/mm}^2$, これより $Z_d \times_s f_b = 3444 \text{ kN}$ となります。したがって、 $L_d \leq Z_d \times_s f_b / T_a = 3444 / 10 = 344 \text{ mm}$ となり、柱心からアンカーボルトまでの距離 L_d は344mm以下にする必要があると計算されます。



柱脚の引抜力による土台の曲げ応力

アンカーボルトの引張耐力（グレー本p.94）

アンカーボルトを土台に定着する座金の短期許容めり込み耐力 N_{cv} が、最寄りの柱脚と土台の接合仕様における短期許容引張耐力 T_a を上回ることを確認します。

$$T_a \leq N_{cv} \quad , \quad N_{cv} = A_{座金} \cdot_s f_{cv}$$

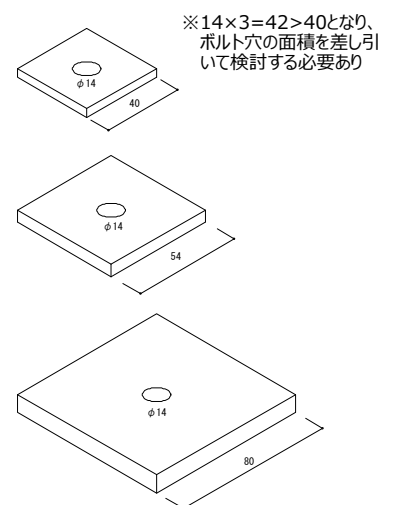
ここで、

$A_{座金}$: 座金のめり込み面積 (mm²) (※ただし、座金の短辺または径がボルト穴の3倍以上あるときはボルト穴の面積を引かなくてもよい)

f_{cv} : 土台材の短期許容めり込み応力度 (N/mm²)

先ほどと同じ接合部仕様で試算すると、 $A_{座金} = 80^2 = 6400 \text{ mm}^2$, $f_{cv} = 11.0 \times 2/3 = 7.3 \text{ N/mm}^2$ より、 $N_{cv} = 6400 \times 7.3 = 46720 \text{ N} = 46.7 \text{ kN}$ となります。したがって、 $46.7 > T_a = 10 \rightarrow \text{OK}$ 。

逆に、例えば座金を40mm角のものにした場合に許容出来る引張力は、 $A_{座金} = 40^2 - 14^2 / 4 \times \pi = 1446 \text{ mm}^2$ より $T_a \leq N_{cv} = 1446 \times 7.3 = 10555 \text{ N} = 10.5 \text{ kN}$ となります。



座金の仕様

アンカーボルトのせん断耐力の検定（グレー本p.95）

1階の鉛直構面ごとに、通り上に存在するアンカーボルトの短期許容せん断耐力の和が、鉛直構面の短期許容せん断耐力以上であることを、下式によって確認します。

$$M_{12}P_a \times n_j + M_{16}P_a \times m_j \geq Q_{aj}$$

ここで、

$M_{12}P_a$: M12アンカーボルトの短期許容せん断耐力 (kN)

$M_{16}P_a$: M16アンカーボルトの短期許容せん断耐力 (kN)

n_j : j通り土台上に存在するM12アンカーボルトの本数

m_j : j通り土台上に存在するM16アンカーボルトの本数

Q_{aj} : j通り鉛直構面の短期許容せん断耐力 (kN)



土台とアンカーボルト

アンカーボルトの短期許容せん断耐力

| 土台の樹種 | アンカーボルト | 短期許容せん断耐力(kN) |
|-------------------------------------------------|---------|---------------|
| ヒバ、ヒノキ、広葉樹、その他の圧縮強さが23.4N/mm ² 以上の樹種 | M12 | 8.72 |
| | M16 | 15.5 |
| ベイツガ、スギ、その他の圧縮強さが18.0N/mm ² 以上の樹種 | M12 | 7.65 |
| | M16 | 13.6 |

柱軸力による土台のめり込みの検定（グレー本p.113）

柱の圧縮力による土台のめり込み応力の検定は、長期荷重に対して行います。長期荷重時の柱の圧縮力による土台のめり込み応力の検定は、下式で行います。

$${}_L N / A_e \leq {}_L f_{cv}$$

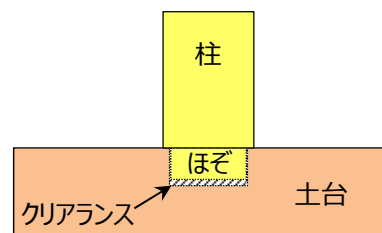
ここで、

${}_L N$: 長期荷重時の柱の圧縮力 (kN)

A_e : 柱の圧縮力が土台に伝達される部分の断面積 (mm²)

${}_L f_{cv}$: 土台の長期許容めり込み応力度 (N/mm²、平成13年国交省告示により、 ${}_L f_{cv} = 1.5/3 \times F_{cv}$ とする)

A_e は、ほぞの先端とほぞ穴底面とのクリアランスが極めて小さい場合は、ほぞ穴面積を差し引く必要はありませんが、クリアランスが大きい場合は差し引く必要があります。その場合、ほぞ寸法が30×90mmであれば、 $A_e = 105 \times 105 - 30 \times 90 = 8325$ (mm²)、 ${}_L f_{cv} = 1.5/3 \times 11 = 5.5$ (N/mm²) より、 ${}_L A_e \times {}_L f_{cv} = 45787$ (N) となります。したがって、許容出来る長期荷重時の柱の圧縮力は45.7 (kN) となります。



柱と土台の接合部

Zマーク金物による接合耐力の確認（グレー本p.72）

Zマーク金物である山形プレート金物を用いた接合部の許容耐力は、スギ・エゾマツの場合で3.92kNですが、実際の運用上は、これを1.5倍した値が用いられます。これは、「降伏耐力後も荷重の上昇が相当あり、かつ韌性に富むことから降伏耐力を許容耐力としても十分に余裕があり、概ね弾性域として大差ないため」です。

先に示した実験結果をみると、荷重と変形の関係は韌性に富み、製材と同等以上の性能があることが認められます。したがって、LVGを使用した場合も、1.5倍の割り増しが適用できると考えられます。

11. LVGの役割と効果

研究成果

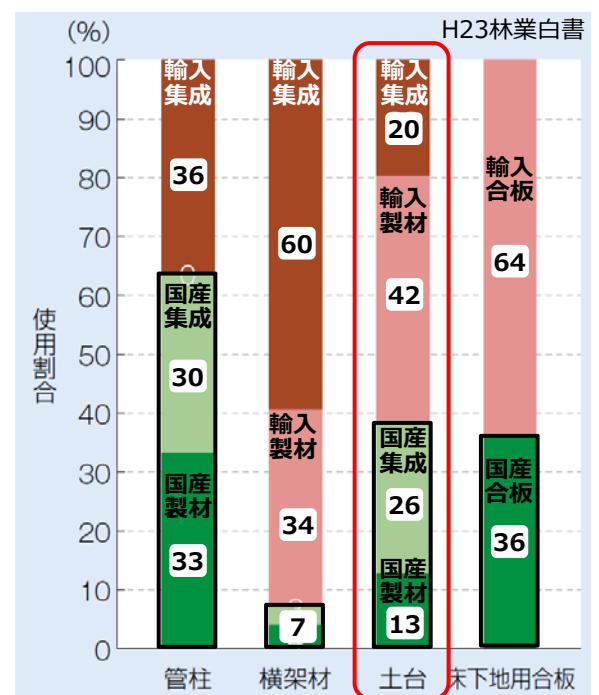
- ◆本研究では、合板工場と集成材工場が密接に連携することで、新たな設備投資をすることなく、従来よりも高強度の道産構造材の生産システムを構築することができました。また、難浸透性のために高い保存処理効果が期待できなかったカラマツ人工林材でも、断面全体に均一に防腐防蟻性能を付与する最適な保存処理技術も確立することができました。



カラマツLVG

LVGの役割

- ◆現状、土台分野では外材が6割を占めていますが、林野庁は在来構法住宅における国産材シェアを4割から6割に引き上げることを目標としています。LVGは、既存の土台製品に対して、強度、均一な保存処理、寸法安定性の面で優位であり、国産材シェア拡大への貢献が期待されています。
- ◆建築分野においても、「長期優良住宅促進法」や「公共建築木造利用促進法」での国産材利用方針などにより、国産材や地域材へのニーズが高まっています。地場工務店のみならず大手住宅会社でも国産材の導入を積極的に進めていますが、住宅の性能保証と瑕疵防止対策のために、品質と性能が保証された構造材の安定供給が一層求められています。LVGは高度な要求に十分応えられるものであり、一般消費者が求める安全・安心な家づくりにも貢献できるものと期待されます。



木造住宅の構造材の国産材シェア

LVGの波及効果

- ◆LVGの生産システムは、北海道内の合板工場と集成材工場の水平連携によるものであり、新たな設備投資を必要とすることなく、道内木材産業における新たな製品開発と需要拡大が期待されます。
- ◆LVGは、従来の集成材よりも丸太からの製品歩留まりが1.5～2倍ほど高く、人工林丸太からより多くの高付加価値製品を産出することが可能となります。
- ◆LVGは、人工林材の用途開拓と需要拡大、高付加価値化と競争力向上に大きく貢献するとともに、付加価値の高い木材生産の推進により、持続可能な森林経営にも貢献できます。
- ◆北海道の基幹産業である林業・林産業の活性化、森林整備と造林意欲の増進、林業・林産業地域の工場出荷額の増加と雇用の創出など、地域経済に及ぼす様々な効果が誘発されるものと期待されます。

おわりに

本研究では、道内の合板工場と集成材工場が連携して、従来のLVLとは異なる製造方法を確立しながら、新しい土台用構造材「単板集成材（LVG：Laminated Veneer Glulam）」を開発しました。また、カラマツLVGの量産システムと最適な製造条件の確立、土台として重要なめり込み特性に優れた構造材料のデータ整備が実現しました。

現在、それらの成果をもとに、建築基準法の構造材料認定の取得に向けて、申請作業を進めております。

新しい構造材料としての実用化は、認定取得後になりますが、関係者とともに積極的に普及展開を進めてまいります。

信頼性・耐久性・強度性能の高い道産カラマツLVGが普及することで、木造建築物の性能向上、道産材の利用拡大、森林整備の推進、地域経済の活性化につながれば幸いです。



研究発表

本研究成果に関する発表事例を以下に示します。

- 1) 大村和香子、宮内輝久、古田直之、宮崎淳子、大橋義徳（2011.10）新たな保存処理単板集成材の防蟻性能、日本木材加工技術協会年次大会講演要旨集
- 2) 古田直之、宮崎淳子、宮内輝久、大橋義徳（2011.11）北海道産人工林材を活用した単板集成材の開発(1)ー接着剤混入処理法を用いて製造したLVLラミナの接着性能ー、日本木材学会北海道支部講演集
- 3) 宮崎淳子、古田直之、宮内輝久、大橋義徳（2011.11）北海道産人工林材を活用した単板集成材の開発(2)ー接着剤混入型木材保存剤を混合したフェノール樹脂の硬化挙動ー、日本木材学会北海道支部講演集
- 4) 宮内輝久、古田直之、宮崎淳子、大村和香子、大橋義徳（2011.11）北海道産人工林材を活用した単板集成材の開発(3)ー接着剤混入処理法を用いて製造したLVLラミナの防蟻性能ー、日本木材学会北海道支部講演集
- 5) 石倉由紀子、松本和茂（2011.11）カラマツにおける横圧縮特性の樹幹放射方向の変動、日本木材学会北海道支部講演要旨集
- 6) 古田直之、大橋義徳、石倉由紀子、松本和茂（2012.3）北海道産人工林材を活用した単板集成材の開発(4)ーLVLたて継ラミナの強度性能ー、第62回日本木材学会大会要旨集
- 7) 大橋義徳、古田直之、石倉由紀子、松本和茂（2012.3）北海道産人工林材を活用した単板集成材の開発(5)ー加圧方向と単板構成によるめり込み特性への影響ー、第62回日本木材学会大会要旨集
- 8) 宮崎淳子、古田直之、大橋義徳（2012.3）ポストキュア温度がフェノール樹脂の効果に及ぼす影響、第62回日本木材学会大会要旨集
- 9) 石倉由紀子、松本和茂、大橋義徳（2012.3）カラマツにおける木材繊維直行方向の力学的性質(1)ー部分圧縮特性（めり込み性能）の樹幹半径方向の変動ー、第62回日本木材学会大会要旨集
- 10) 石倉由紀子、松本和茂、大橋義徳（2012.3）カラマツにおける木材繊維直行方向の力学的性質(2)ー全面横圧縮特性の樹幹半径方向の変動ー、第62回日本木材学会大会要旨集
- 11) 大村和香子、宮内輝久、佐藤大樹、廣岡裕史、大橋義徳（2012.12）イミダクロプリドおよびそのアルカリ加水分解物のイエシロアリに対する防蟻性能と糸状菌の殺蟻性、日本環境動物昆虫学会誌
- 12) Junko Miyazaki・Naoyuki Furuta・Teruhisa Miyauchi（2012.8）Curing of phenol-formaldehyde resins mixed with wood preservatives、Journal of Applied Polymer Science
- 13) 大橋義徳、古田直之（2012.9）土台用単板積層材のめり込み特性と評価法の検討、日本建築学会大会学術講演梗概集
- 14) Yukiko Ishikura・Kazushige Matsumoto・Yoshinori Ohashi（2012.10）Radial variation in partial compression properties perpendicular to the grain of Japanese larch (*Larix kaempferi*)、Journal of Wood Science
- 15) 宮崎淳子、古田直之（2012.10）接着剤混入法を用いた防腐防蟻処理LVLの製造とその接着性能、第33回木材接着研究会講演要旨集
- 16) 宮崎淳子（2012.11）保存処理された合板・単板積層材の接着性能、日本接着学会誌
- 17) 大村和香子、宮内輝久、大橋義徳、（2012.11）イミダクロプリドおよびそのアルカリ加水分解物の防蟻性能、第24回日本環境動物昆虫学会年次大会要旨集
- 18) 大橋義徳、松本和茂、古田直之、戸田正彦（2013.3）北海道産人工林材を活用した単板集成材の開発(6)ー曲げ・せん断・めり込み特性ー、第63回日本木材学会大会要旨集
- 19) 古田直之、大橋義徳、松本和茂、戸田正彦（2013.3）北海道産人工林材を活用した単板集成材の開発(7)ー劣化処理が力学特性に与える影響ー、第63回日本木材学会大会要旨集
- 20) 松本和茂、古田直之、大橋義徳、戸田正彦（2013.3）北海道産人工林材を活用した単板集成材の開発(8)ー長期荷重が曲げ特性に与える影響ー、第63回日本木材学会大会要旨集

研究体制

本研究は、新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業において、「北海道産人工林材を活用した低コストで高性能な単板集成材の開発と実用化（課題番号22070）」として実施しました。関係各位に謝意を表します。

事業名

農林水産省「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」

課題名

「北海道産人工林材を活用した低コストで高性能な単板集成材の開発と実用化」
(課題番号22070)

研究期間

平成22～24年度

共同研究機関・担当者

地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 森林研究本部 林産試験場

大橋義徳・宮内輝久・古田直之・宮崎淳子・松本和茂・戸田正彦・森満範・東智則・石倉由紀子

独立行政法人 森林総合研究所

大村和香子

丸玉産業株式会社

工藤公彦・黒田渉・小滝裕司・藤井哲也・正木壮宙

協同組合オホーツクウッドピア

板垣孝夫・北堀篤・木村友和

物林株式会社

金川晃・近藤健彦・石原亘

研究アドバイザー

北海道大学大学院農学研究院 平井卓郎教授

農林水産技術会議 田崎清氏

研究項目

1. 新しい単板集成材の生産システムの開発

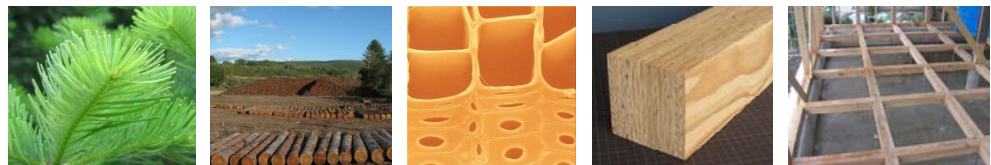
- (1) LVLラミナのたて継ぎ方法の検討
- (2) LVLラミナの積層接着方法の検討

2. 北海道産人工林材を用いた単板集成材に最適な保存処理技術の開発

- (1) 効果的な木材保存剤の浸透条件の確立と実大規模での製造条件の確立
- (2) 保存処理した単板集成材の接着性能評価および防腐防蟻性能評価

3. 単板集成材の公的認定取得に向けた製造試験とデータ整備

- (1) 生産システムによる単板集成材の製造試験
- (2) 単板集成材の力学特性評価および様々な使用環境が力学特性に及ぼす影響の評価



新しい土台用構造材：カラマツ単板集成材「LVG」

<http://www.fpri.hro.or.jp/manual/lvg/lvg.htm>

発行日：平成25年3月

企画・編集：地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 林産試験場

問い合わせ：企業支援部普及調整グループ

〒071-0198 北海道旭川市西神楽1線10号 電話0166-75-4233(内線415)
