

森林総合研究所  
交付金プロジェクト研究 成果集 4

性能規定化に対応した国産材による  
高信頼性構造用材の開発調査

独立行政法人 森林総合研究所  
2004. 9

## 序 文

近年、森林資源を持続的循環資源として利用し、快適で安全な居住環境を構築していくために、住宅部材や木構造部材などを対象にした付加価値の高いエンジニアードウッドの開発、高機能性内装材の開発などが進められている。一方、住宅や木構造物の性能向上に対する国民のニーズはますます高まっており、性能表示とその品質を保証するいわゆる性能規定化の動きが急になってきている。今後、国際規格ISOへの対応を見据えた建築基準、JIS、JAS等の見直しが急ピッチで進められるであろう。このような状況から、基準、規格、関連規則等の動向を的確に把握し、研究や技術開発の現状と照合して試験方法や評価方法に係わる技術の欠陥を埋めながら整合性を図り、木材利用の新しい方向に対応していく必要がある。

本研究「性能規定化に対応した国産材による高信頼性構造用材の開発調査」は、特定研究として平成11年に開始し、平成15年までの5ケ年間にわたり、森林総合研究所が実施したものである。以下の10項目について研究し、新たに開発された木製品や軸組構造用材等の位置づけを性能の面から明確にし、構造設計や国際規格に対応していくために、新たな試験方法や評価手法の開発、提案を行った。

- 1 異種材料との積層・複合による木質新素材の製造技術の開発調査
- 2 集成・複合部材の最適木取り技術の開発調査
- 3 集成・複合部材の最適乾燥技術の開発調査
- 4 構造用軸材料の強度性能評価技術の開発調査
- 5 構造用面材料のせん断性能の評価法確立のための開発調査
- 6 構造用面材料の耐火性能の評価法確立のための開発調査
- 7 寸法の異なる構造用面材料の曲げ性能評価技術の開発調査
- 8 木質新素材を接着接合した建築用部品の強度及び耐久性評価技術の開発調査
- 9 新在来工法用特殊金物接合部の強度発現機構の調査
- 10 針葉樹構造用材の耐久性及び劣化の評価技術の開発調査

この研究成果は、各種木質材料の性能評価のために貴重な情報を提供するものであり、ここに本書を刊行し、広く関係者の参考に供する次第である。

平成16年9月

独立行政法人 森林総合研究所理事長

田 中 潔

目 次

研究の要約	-----	1
第1章 スギ等針葉樹材による高信頼性構造用軸材料の製造及び性能評価技術の開発調査	-----	10
1. 異種材料との積層・複合による木質新素材の製造技術の開発調査	-----	10
2. 集成・複合部材の最適木取り技術の開発調査	-----	15
3. 集成・複合部材の最適乾燥技術の開発調査	-----	22
4. 構造用軸材料の強度性能評価技術の開発調査	-----	46
第2章 スギ等針葉樹材による高信頼性構造用面材料の製造及び性能評価技術の開発調査	-----	51
1. 構造用面材料のせん断性能の評価法確立のための開発調査	-----	51
2. 構造用面材料の耐火性能の評価法確立のための開発調査	-----	59
3. 寸法の異なる構造用面材料の曲げ性能評価技術の開発調査	-----	67
第3章 スギ等針葉樹材による高信頼性構造用材の実用促進技術の開発調査	-----	72
1. 木質新素材を接着接合した建築用部品の強度及び耐久性評価技術の開発調査	-----	72
2. 新在来工法用特殊金物接合部の強度発現機構の調査	-----	78
3. 針葉樹構造用材の耐久性及び劣化の評価技術の開発調査	-----	82

# 研究の要約

## I 研究年次及び予算区分

研究年次：平成11～15年（5ケ年）

予算区分：運営費交付金（特定研究、交付金プロジェクト）

## II 主任研究者

主査：加工技術科長 久田卓興（平成11年4月1日～平成12年3月31日）

加工技術研究領域長 久田卓興（平成12年4月1日～平成14年3月31日）

加工技術研究領域長 藤原勝敏（平成14年4月1日～平成16年3月31日）

取りまとめ責任者：加工技術研究領域長 藤原勝敏

## III 研究場所

森林総合研究所・本所

## IV 研究目的

戦後造成された日本の人工林は、近年森林資源として充実してきており、循環資源として永続的に利用しうる状況が整いつつある。しかし、輸入材に対する価格の競争力が弱く、製品流通量や品質面の安定性に欠けていることなどから、木材需要に占める国産材のシェアは20%弱と低迷を余儀なくされている。この状況を打開するために、柱材を中心とする在来軸組木造住宅用部材の需要拡大、木構造部材などを対象にした付加価値の高いエンジニアードウッドの開発、高機能性内装材の開発などが進められている。

一方、国民の住宅性能向上に対するニーズはますます高まっており、性能表示とその品質を保証するいわゆる性能規定化の動きが急になってきている。今後、国際規格ISOへの対応を見据えた建築基準、JIS、JAS等の見直しが進むことが予想される。

このような状況から、国産材の需要拡大のために、新たに開発された木製品や軸組構造用材等の位置づけを性能の面から明確にし、構造設計や国際規格に対応していく必要がある。基準、規格、関連規則等の動向を的確に把握し、研究や技術開発の現状と照合して試験方法や評価方法に係わる技術の欠陥を埋めながら整合性を図り、木材利用の新しい方向に対応していく必要がある。その役割が森林総合研究所に求められている。

## V 研究方法

第1章 スギ等針葉樹材による高信頼性構造用軸材料の製造及び性能評価技術の開発調査

1 異種材料との積層・複合による木質新素材の製造技術の開発調査

FRP板挿入ガセット接着接合法の改良を念頭においた平使い集成材の強度試験及びFRP板挿入ガセット接着接合法試験体の接着性能試験を行い、またCFRPシート補強スギ集成材による試験方法を検討した。

2 集成・複合部材の最適木取り技術の開発調査

ツイン帯鋸盤によるスギ製材を想定して挽き材試験を行い、歩止まり、挽き曲がり、生産能率、

生産コスト、乾燥による曲がり調べた。

### 3 集成・複合部材の最適乾燥技術の開発調査

乾燥スケジュール作成のために国内で乾燥されている主要な樹種を調査した。さらに、住宅の平衡含水率を把握するために解体直前の住宅の部材含水率を調査し、また乾燥温度及び品質の管理のために内装材及び集成材工場の実態調査を行った。

### 4 構造用軸材料の強度性能評価技術の開発調査

製材品の曲げ強度に及ぼす材せいの影響、縦引張強度に及ぼす含水率の影響を定量的に明らかにした。さらに、構造用木材のめり込み試験法について検討した。

## 第2章 スギ等針葉樹材による高信頼性構造用面材料の製造及び性能評価技術の開発調査

### 1 構造用面材料のせん断性能の評価法確立のための開発調査

小試験片を用いる試験方法であるEdgewise shear (EWS)法によって構造用合板のせん断性能を測定し、測定因子の影響について検討した。大型試験体を用いる試験方法であるTwo-rail shear (TRS)法によって構造用合板のせん断性能の測定を行い、ひずみの測定位置・測定方法等の測定因子が実大性能に与える影響について検討した。

### 2 構造用面材料の耐火性能の評価法確立のための開発調査

耐火加熱試験方法ISO 834に準拠した加熱燃焼試験を行い、裏面温度、燃え抜け時間等から燃焼特性、耐火時間を調べた。また、熱伝導測定装置により熱伝導率を測定した。

### 3 寸法の異なる構造用面材料の曲げ性能評価技術の開発調査

スギを含む針葉樹材を主要な原料とした床下地用厚物合板の曲げ性能を調べた。平行層理論に基づき構成単板の曲げ強度・曲げヤング係数を算出し、小試験体平行方向の単板の物性値を用いて直交方向の曲げ性能の予測を行った。各構成単板の曲げ性能値から単板構成を変化させた場合の合板の曲げ性能をシミュレートし、要求性能を満たすための断面構成を導出した。

## 第3章 スギ等針葉樹材による高信頼性構造用材の実用促進技術の開発調査

### 1 木質新素材を接着接合した建築用部材の強度及び耐久性評価技術の開発調査

2種類の木材と2種類の接着剤を組み合わせた木材-GFRP複合試験体を作成し、これらの試験体に熱履歴の異なる促進劣化試験を施して、はく離率、ブロックせん断強さを測定した。ヒノキ、ヒバ、スギを用いた異樹種フィンガージョイントラミナの引張強度試験及びこれらを積層接着した集成材の曲げ強度試験を行って、その強度性能上の特徴を明らかにした。

### 2 新在来工法用特殊金物接合部の強度発現機構の調査

わが国で生産されている多種多様な特殊金物の生産状況を調査し、その形態上の特徴、強度発現機構、施工性等についての分類・整理を行った。メタルプレートコネクタ (MPC) を用いたスギ材の継手の引張試験を行い、その強度特性について検討した。3種類の金物を用いた構造用集成材の実大材試験によって、その強度発現機構を検討した。

### 3 針葉樹構造用材の耐久性及び劣化の評価技術の開発調査

ファンガスセラー試験、野外杭試験、JIS強制腐朽試験、野外シロアリ試験、木製ダムの実態調査を行い、さらにピロディンによるピン打ち込み深さ、PUNDITによる超音波伝播速度及び目視等により劣化度の評価を行った。構造材の耐朽性試験に関する新しい手法を参考に、躯体モデルを

試作し腐朽とカビ発生を調べた。

## VI 研究結果

研究計画表

課 題 名	担 当	期 間
・異種材料との積層・複合による木質新素材の製造技術の開発調査	積層接着研、資源再利用チーム	11～13
・集成・複合部材の最適木取り技術の開発調査	木材機械加工研	11～13
・集成・複合部材の最適乾燥技術の開発調査	木材乾燥研	11～15
・構造用軸材料の強度性能評価技術の開発調査	強度性能評価チーム、材料接合研	11～13
・構造用面材料のせん断性能の評価法確立のための開発調査	複合化研	12～14
・構造用面材料の耐火性能の評価法確立のための開発調査	木材保存研	12～15
・寸法の異なる構造用面材料の曲げ性能評価技術の開発調査	複合化研	14～15
・木質新素材を接着接合した建築用部品の強度及び耐久性評価技術の開発調査	積層接着研、資源再利用チーム	14～15
・新在来工法用特殊金物接合部の強度発現機構の調査	材料接合研	11～13
・針葉樹構造用材の耐久性及び劣化の評価技術の開発調査	高耐久化チーム、木材保存研	11～15

### 第1章 スギ等針葉樹材による高信頼性構造用軸材料の製造及び性能評価技術の開発調査

#### 1 異種材料との積層・複合による木質新素材の製造技術の開発調査

FRP等の異種材料との複合材の製造における強度性能や耐久性性能の評価法を決めるにあたって活用できる成果を得た。また、製造条件によるシュミレーションモデルの作成等を行った。

#### 2 集成・複合部材の最適木取り技術の開発調査

集成・複合部材用ラミナの製材について、寸法と品質に応じた製材品を生産するための最適木取りパターンを示し、挽き材試験により製材歩止まり、生産能率、生産コスト、乾燥による曲がりを明らかにした。

#### 3 集成・複合部材の最適乾燥技術の開発調査

消費者が安心して使える住宅部材を生産するために、従来からの含水率基準を再検証し、基準に合致した製品生産のためのガイドラインを作成した。

#### 4 構造用軸材料の強度性能評価技術の開発調査

軸材料の強度性能評価ではめり込み試験方法について検討し、いくつかの影響の強い因子を明らかにした。これは国内外においてめり込み試験方法の規格を定める場合に、有益な情報として活用できる。

### 第2章 スギ等針葉樹材による高信頼性構造用面材料の製造及び性能評価技術の開発調査

#### 1 構造用面材料のせん断性能の評価法確立のための開発調査

実大の面材料の強度性能を的確に測定しにくい点があった従来のTwo-rail shear (TRS)法を改

良した油圧方式の改良型TRS法により、簡便にかつ的確に強度性能を評価することができるようになった。

## 2 構造用面材料の耐火性能の評価法確立のための開発調査

床材として開発され利用されている国産針葉樹による厚物合板は、一枚の材料の耐火時間が25分以上であったことから、20分間の準防火構造、30分間の防火構造および準耐火構造、45分間の準耐火構造の壁の外壁、内装構成材料として使用することができることを明らかにした。

## 3 寸法の異なる構造用面材料の曲げ性能評価技術の開発調査

断面寸法が曲げ性能に及ぼす影響を定量化し、構成単板の物性値と単板構成から曲げ性能を予測する簡便な評価法を確立した。また、この評価法を適用することで、国産針葉樹材を用いた面材料の性能を向上させるための断面構成を決定することができた。

# 第3章 スギ等針葉樹材による高信頼性構造用材の実用促進技術の開発調査

## 1 木質新素材を接着接合した建築用部品の強度及び耐久性評価技術の開発調査

促進劣化処理によるブロックせん断強さの低下は接着剤により異なるが、全体的に高温で浸せき処理等をしたほうが低下は大きく、またブロックせん断強さの低下率は、試験体の寸法が大きいほうが大きいことを明らかにした。弾性率の異なる異種材料が複合された部位の力学的挙動は、弾性域内では基本的に複合則にのることを明らかにした。

## 2 新在来工法用特殊金物接合部の強度発現機構の調査

多種多様な特殊金物に関する資料を収集し、接合金物の種類別にその形態上の特徴、強度発現機構、施工性等について分類・整理を行い、分類表を作成した。

## 3 針葉樹構造用材の耐久性及び劣化の評価技術の開発調査

野外杭試験とファンガスセラー験により素材耐朽性と薬剤の効力を明らかにした。実大材を用いたファンガスセラー試験において、10ヶ月の短期間での試験でも材料の耐朽傾向をつかむのに有効であった。オオウズラタケ、カワラタケによる強制腐朽試験を行い、含水率が30%を超える状態が続くと容易に腐朽が進行することを明らかにした。さらに、躯体モデルを用いた新規試験を行い、この状態で孢子が付着し、容易に発芽し得ることを明らかにした。

# VII 今後の問題点

## 第1章 スギ等針葉樹材による高信頼性構造用軸材料の製造及び性能評価技術の開発調査

### 1 異種材料との積層・複合による木質新素材の製造技術の開発調査

異種材料を複合した材料そのものの設計手法、汎用的な接着性能試験及びブロックせん断試験等で認められた接着強さの低下が実大規模の部材の強度性能に与える影響等について検討する必要がある。

### 2 集成・複合部材の最適木取り技術の開発調査

提案した最適木取りパターンによる製材品の木取り部位と材料強度あるいは乾燥性の関係について研究する必要がある。

### 3 集成・複合部材の最適乾燥技術の開発調査

集成材用ラミナ等の製材寸法、乾燥方法、含水率管理の方法をまとめることが可能になったので、「針葉樹ラミナ等板材の乾燥工程マニュアル」のような形でのまとめを考えている。また、乾燥

工場で即応用できるようにするために、針葉樹ラミナの厚板の人工乾燥スケジュールのタイムスケジュール化および乾燥材の生産管理のためのチェックポイント等についても整理する。

#### 4 構造用軸材料の強度性能評価技術の開発調査

特になし。

### 第2章 スギ等針葉樹材による高信頼性構造用面材料の製造及び性能評価技術の開発調査

#### 1 構造用面材料のせん断性能の評価法確立のための開発調査

特になし。

#### 2 構造用面材料の耐火性能の評価法確立のための開発調査

耐火試験で得られたデータは今後、比熱測定などから簡易な耐火時間予測式を構築して学会などで発表する。実際の壁構成材料から、重ね合わせによる耐火時間の予測は、合板、MDFの比熱のデータを必要とするが、一般に比熱計測は困難とされている。このため、計測装置の設計を含めて新たな取り組みが必要である。

#### 3 寸法の異なる構造用面材料の曲げ性能評価技術の開発調査

構造用面材料の曲げ性能評価に関する成果は、構造用合板の技術資料に活用されており、さらにスギ等国産針葉樹材の利用促進に向けた技術資料等の充実化のために活用していく必要がある。

### 第3章 スギ等針葉樹材による高信頼性構造用材の実用促進技術の開発調査

#### 1 木質新素材を接着接合した建築用部品の強度及び耐久性評価技術の開発調査

異種複合材料の接着耐久性評価方法については、国土交通省総合プロジェクトにおいて接着耐久性評価技術方法が示されるので、製品規格の作成等に反映させていく。

#### 2 新在来工法用特殊金物接合部の強度発現機構の調査

特になし。

#### 3 針葉樹構造用材の耐久性及び劣化の評価技術の開発調査

耐朽性に関する試験研究データは、いずれも民間との協力で得た実用的なデータであり、耐朽性評価のための基礎資料として広く活用されている。さらに、これらのデータを使用環境を想定した新しい試験方法の提案に繋げていく予定である。

## VIII 研究発表

### 第1章

#### 1

- 1) Atsushi Miyatake, Tsuyoshi Fujii (1999) Epoxy-bonded joints for timber member with internal FRP gusset-plates; Proceedings of Advanced Engineered Wood Composites, 18
- 2) 宮武敦 (2000) 「第1回先端的木質複合材に関する国際会議」に参加して; 木材工業、55、75-77
- 3) 宮武敦、平松靖、林知行、高橋和彦 (林業土木コンサルタンツ) (2000) 平使い集成材の強度性能 (I) -フィンガージョイントの影響-; 第50回日本木材学会大会研究発表要旨集、122

#### 2

- 1) Kohji Murata, Yuji Ikami, Katsutoshi Fujiwara, Katsumi Nishimura(1999) "Lumber yields from sugi logs"; Proceedings of the 14th International Wood Machining Seminar, Volume 2, 671-69
- 2) 伊神裕司、藤原勝敏、村田光司(2000) スギ中丸太の製材歩止りー非等厚ラミナ集成柱用木取りー；第50回日本木材学会大会研究発表要旨集、627
- 3) 伊神裕司、D. Silva (ウルグアイ)、H. O'Neill (ウルグアイ) (2001) ウルグアイ産早生樹の挽き材試験；第51回日本木材学会大会研究発表要旨集、142
- 4) 伊神裕司、D. Silva (ウルグアイ)、H. O'Neill (ウルグアイ) (2001) ウルグアイ産エリオッティマツの挽き材試験；木材工業、56、372-376
- 5) 藤本清彦、松村ゆかり、伊神裕司、村田光司(2002) スギ中丸太の挽き材試験ー集成ラミナと平角の複合木取りー；第52回日本木材学会大会研究発表要旨集、543

### 3

- 1) 齋藤周逸(2001)天竜地域における針葉樹材の乾燥モデル；木と住まいの総合啓発事業報告書、天竜木材産地協同組合、1-86
- 2) 齋藤周逸、信田聡(東大院農)、吉田孝久(長野林総セ)、西村勝美(住木セ)(2001)解体直前住宅の木材含水率調査；第51回日本木材学会大会研究発表要旨集、557
- 3) 齋藤周逸(2001)解体家屋の木材含水率調査；品質・性能向上技術調査・開発事業報告書、日本住宅・木材技術センター、1-56、140-148
- 4) 齋藤周逸(2001)恒温恒湿室内における乾燥柱材の寸法変化；日本木材加工技術協会第19回年次大会講演要旨集、58-59
- 5) 信田聡(東大院農)、齋藤周逸、吉田孝久(長野林総セ)、河崎弥生(岡山木技セ)、西村勝美(住木セ)(2002)居住室内の温湿度環境と木材含水率・寸法挙動；第52回日本木材学会大会研究発表要旨集、125
- 6) 齋藤周逸、吉田孝久(長野林総セ)、河崎弥生(岡山木技セ)、信田聡(東大院農)、西村勝美(住木セ)(2002)木造住宅の構造材に現れた含水率分布；木材工業、57、438-443
- 7) 齋藤周逸(2002)住宅部材の水分バランス；NPO木の建築、40-43
- 8) 齋藤周逸：住宅用国産針葉樹材の乾燥材生産マニュアル；日本住宅・木材技術センター(印刷中)
- 9) 齋藤周逸(2003)スギ材を対象とした携帯型含水率計の精度；第53回日本林学会関東支部要旨集、56
- 10) 齋藤周逸(2003)未乾燥材が住宅に及ぼす影響；ぐんまの木活用コーディネータ養成講座資料、1-19
- 11) 黒田尚宏(2004)樹種別の乾燥材生産の技術マニュアル；全木連、21-30
- 12) 齋藤周逸(2004)乾燥スケジュール；木材工業ハンドブック、丸善、283-317

### 4

- 1) 加藤英雄、長尾博文、田中俊成(1999)はりせいの違いによる曲げ強度データの調整方法の検討；「製材品の強度性能に関するデータベース」データ集(3)、強度性能研究会、69-70

- 2) 長尾博文、飯島泰男(秋田木高研)、河合直人(建研)(1999)曲げ強度試験データの調整方法について;日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)、7-8
- 3) 長尾博文(1999)「構造用木材の強度試験法」研修会テキスト(所収)住宅資材性能規定化対策事業、地域材性能評価事業、日本住宅・木材技術センター、1-84
- 4) 長尾博文、井道裕史、加藤英雄、菅原弥寿夫(新潟森林研)、宮崎茂雄(山口林業指導セ)(2001)製材品の縦引張り強度に及ぼす含水率の影響;第51回日本木材学会大会研究発表要旨集、95
- 5) 井道裕史、長尾博文、加藤英雄、後藤崇志(島根中山間地域研セ)(2002)ベイマツ製材品を用いためり込み試験方法の検討;第52回日本木材学会大会研究発表要旨集、110

## 第2章

### 1

- 1) 名波直道(静大農)、山村浩介(静大農)、渡邊洋子(静大農)、時政圭輔(静大農)、渋沢龍也(2002)主要な構造用面材料の機械的性質(IV)接着方式および油圧クランプ方式Two-rail shear法の比較;第52回日本木材学会大会研究発表要旨集、264
- 2) 名波直道(静大農)、渋沢龍也、渡邊洋子(静大農)、谷川信江(2002)木質系構造用面材料の強度性能とその評価 その9 改良型Two-rail shear法の妥当性の評価;日本建築学会大会学術講演梗概集C-1構造III、9-10

### 3

- 1) 渋沢龍也、谷川信江、神谷文夫、山村浩介(静大農)、渡邊洋子(静大農)、時政圭輔(静大農)、名波直道(静大農)(2002)床下地用厚物合板の強度性能(III)平行層理論による曲げ性能の評価;第52回日本木材学会大会研究発表要旨集、266
- 2) 渋沢龍也、名波直道(静大農)、渡邊洋子(静大農)、谷川信江、神谷文夫(2002)木質系構造用面材料の強度性能とその評価 その7 平行層理論による床下地用厚物合板の曲げ性能の予測;日本建築学会大会学術講演梗概集C-1構造III、5-6
- 3) 渋沢龍也、神谷文夫、渡邊洋子(静大農)、池畑丞(静大農)、名波直道(静大農)、岡崎泰男(秋田木高研)、東野正(岩手林技セ)、大西裕二(宮城林試)(2003)床下地用厚物合板の強度性能、(IV)国産針葉樹材を用いた合板の性能評価;第53日本木材学会大会研究発表要旨集、280
- 4) 渋沢龍也、名波直道(静大農)、岡崎泰男(秋田木高研)、東野正(岩手林技セ)、大西裕二(宮城林試)、神谷文夫(2003)木質系構造用面材料の強度性能とその評価 その10 国産針葉樹材を用いた床下地用厚物合板の曲げ性能;日本建築学会大会学術講演梗概集C-1構造 III、495-496
- 5) 神谷文夫、渋沢龍也、宮村雅史(建研)、平野茂(一条工務店)(2003)ネダノン・マニュアル Ver. 3;東京合板工業組合・東北合板工業組合
- 6) 神谷文夫、渋沢龍也、宮村雅史(建研)、平野茂(一条工務店)(2003)構造用合板の手引き;日本合板工業組合連合会

## 第3章

### 1

- 1) 宮武敦(2002)接着耐久性試験方法の検討；木質複合建築構造技術の開発－平成13年度報告書構造分科会（日本建築センター）、115-120
- 2) Ting King Boh, Atsushi Miyatake, Takashi Nakai(2002) The efficiency of Alan Batu finger joints in tension; TRTTC/STA Forest Products Seminar 2002, 1-10
- 3) 宮武敦(2003)FRP複合材と木材の接着接合；木質複合建築構造技術の開発－平成14年度報告書構造分科会（日本建築センター）、47-53
- 4) 宮武敦、平松靖、大河原睦（埼玉農総研セ）、中島史郎（建研）(2003)FRP複合集成材の接着耐久性評価方法の検討；日本木材加工技術協会第21回年次大会講演要旨集、68-69

## 2.

- 1) 林知行、板垣直行（東北大学）(2000)金物工法とその接合部；木材工業、55(3)、103-108
- 2) 林知行、軽部正彦、原田真樹(1999)スギ材をメタルプレートコネクターで接合した継手の強度特性；日本木材加工技術協会第17回年次大会講演要旨集、26-27
- 3) 林知行(2000)住宅品確法とエンジニアリングウッドと接合金物；日本住宅新聞、14-17、1025
- 4) 林知行、軽部正彦、原田真樹(2001)スギを用いたメタルガセットトラスの性能評価；森林総合研究所所報 3月号
- 5) 林知行、軽部正彦、原田真樹、井道裕史(2001)スギ材をメタルプレートコネクターで接合した継手の強度特性；材料（日本材料学会誌）、50、421-426
- 6) Tomoyuki Hayashi, Masahiko Karube, Masaki Harada and Hirofumi Ido(2001) Strength Properties of Sugi Timber-joints with Metal Plate Connectors; Proceedings of the International RILEM Symposium-Joints in Timber Structures, 201-212
- 7) 林知行、軽部正彦ほか5名(2001)異樹種複合集成材の接合強度－金物工法用梁受金物のせん断強度；第51回日本木材学会大会研究発表要旨集、229
- 8) 林知行(2001)金物工法概要；建築知識 10月号、182-185
- 9) Tomoyuki Hayashi, Masahiko Karube, Kouji Harada, Toshihiro Mori, Tomonori Ohno, Kohei Komatsu and Yasuo Iijima(2002) Shear Tests of Timber Joints Composed of Sugi Composite Glulam Beams Using Newly Developed Steel Connectors; Journal of Wood Science, 48, 484-490

## 3.

- 1) Koichi Yamamoo, Ikuo Momohara and Wakako Ohmura(2001) Evaluation Methods for the Natural Durability of timber Species; High-Performance Utilization of Wood for Outdoor Uses, Ed Y. Imamura
- 2) Koichi Yamamoto, Ikuo Momohara(2002) Estimation of service life of durable timber species by accelerated decay test and fungal cellar test; IRG/WP 02-20249
- 3) 大村和香子、山本幸一、桃原郁夫、宮武敦、小舘善樹（小舘木材）(2002)数樹種の集成材の野外シロアリ試験とファンガスセラー試験；日本木材加工技術協会第20回年次大会研究発表要旨集、56-57
- 4) 山本幸一、桃原郁夫、大村和香子、西村 健(2002)森林総合研究所の杭試験9報－幾つかの熱

帯材の素材耐用年数；日本木材加工技術協会第20回年次大会研究発表要旨集、56-57

- 5) 前田恵史（越井プレザービング）、山本幸一(2003)ACQの野外効力試験結果；第53回日本木材学会大会要旨集、444
- 6) Takeshi Nishimura, Koichi Yamamoto, Laëtitia Febvre, Vanessa Gini(2003) "Screening of preservatives against *Loweporus tephroporus* 2 strains isolated from crucially damaged ekki wooden bridges in Japan"; The 6th International Conference on ECOMATERIALS, Abstract, 10
- 7) Takeshi Nishimura, Koichi Yamamoto, Laëtitia Febvre, Vanessa Gini(2004) "Screening of wood preservatives and natural compounds against 2 isolates of *Loweporus tephroporus* from severely damaged ekki wooden bridges in Japan"; *Transactions of the Materials Research Society of Japan*, Volume 29(5), 2025-2028

## IX 研究担当者

### 第1章

- 1 宮武 敦、藤井 毅
- 2 村田光司、伊神裕司、松村ゆかり
- 3 齋藤周逸、黒田尚宏
- 4 長尾博文、加藤英雄、井道裕史

### 第2章

- 1 渋谷龍也、秦野泰典
- 2 上杉三郎、原田寿郎
- 3 渋谷龍也、秦野恭典

### 第3章

- 1 宮武 敦、平松 靖
- 2 林 知行、軽部正彦、原田真樹
- 3 西村 健、桃原郁夫、大村和香子、山本幸一

# 第1章 スギ等針葉樹材による高信頼性構造用軸材料の製造及び性能評価技術の開発調査

## 1. 異種材料との積層・複合による木質新素材の製造技術の開発調査

### ア 研究目的

木材を建築物の構造材として使用する上で問題となる剛性の低さや強度のバラツキの大きさなどの強度性能についてその向上を図るために、木材と鋼材あるいは繊維強化プラスチック（FRP）等とを複合した木質材料が開発されてきている。今後、これらの材料が実際の建築物等に使用されるには、木材と異種材料との接着技術およびその材料設計や強度設計技術における問題点を明らかにするとともに、その解決策を探る必要がある。本研究では、垂直積層型集成材の性能試験を通してFRPと複合した接合部あるいは構造部材としての性能を推定することを検討した。

垂直積層型集成材とは、JASで規定されている平使い方向で集成材使用するもので、現在、同一等級集成材（2～4枚積層）が認められている。垂直積層型集成材を製造する目的を以下にまとめると、① だら挽きされた乱尺幅のひき板を幅はぎして使用することで、製材の省力化と歩留まり向上をねらう。② 垂直積層型集成材ではヤング率や曲げ強度の低下が生じるとされていることや、ラミナグレーディングやラミナ構成が従来とは異なる集成材となると考えられるので、強度性能やその保証システムを明らかにする。一方で、単板、ラミナ、新素材（FRP、圧密化LVL）等の薄板を効果的に複合・積層接着して、従来、木材・木質材料が弱いとされてきたせん断やめり込み等の強度性能を向上させる方法がある。③ 薄板をはさみ込まないスリット部を持つ部材と、そのスリットに挿入される薄板を予め持った部材とを接着接合することで、従来のFRPガセット接合のスリット加工精度の向上、施工上の省力化などを図ることができる可能性がある。さらに、I型、L型、+型、ボックス型等の断面をした部材の製造技術の開発や集成材構造の接合部を開発することも可能となる。

### イ 研究方法

JAS認定工場に依頼して、図1-1-1に示すようなフィンガージョイント（FJ）を1～3個持

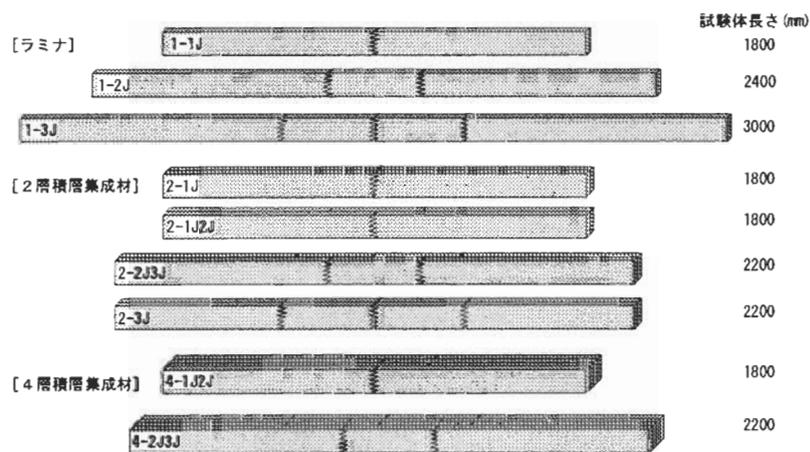


図 1-1-1 試験体の概要

つぎ集成材用ラミナ（1-1J, 1-2J, 1-3J）を各80枚製造した。ラミナの断面は幅133mm×厚30mm、長さは1800mm(1J)、2400mm(2J)、3000mm(3J)、FJの間隔は約400mmとした。フィンガーの長さは25mm、ピッチは6.5mm、接着剤はレゾルシノール系樹脂接着剤であった。各ラミナの縦振動法による弾性係数と節径比を測定した後、図1-1-1に示す9種類の試験体について、各条件の弾性係数の平均値がほぼ同じになるようにラミナを配分した。ラミナ試験体3種類は各20体、2層積層材4種類および4層積層材2種類は各10体とした。集成材試験体については、FJを図1-1-1のように配置してレゾルシノール系樹脂接着剤を用いて積層接着した。

曲げ試験の方式は3等分点4点荷重とした。3Jラミナを含む試験体については全スパンを2200mm、またそれ以外の試験体については1650mmとした。せん断スパンは一律に585mmとし、FJ部がモーメント一定区間に配置されるよう考慮した。試験中の荷重、全スパンの中央たわみ、モーメント一定区間のたわみを計測し、曲げ破壊係数(MOR)と曲げヤング係数(MOE)を算出した。なお、ラミナの曲げ試験に際しては、横倒れ防止用のサポートを用いた。

## ウ 結果

1-2Jおよび1-3Jでは、フィンガージョイントの加工不良品が各1体あったので、試験対象から除外した。また、曲げ試験中、横倒れが生じて防止用サポートとの接触が大きくなったため試験を中止したものが1-1Jでは3体、1-2Jでは1体あった。これらのデータを除いた試験結果の概要を表1-1-1に示す。まず、ラミナ試験体間で比較すると、1-1Jと1-2Jはほぼ同じ曲げ強度(MOR)の平均値を示しているが、1-3Jはこれらに比べて12%ほど低い。この強度低下はFJ数が増加したことによるもの(長さ方向の寸法効果)と考えられる。

林らはフィンガージョイントの数が引張強度におよぼす影響について本報とほぼ同じ仕様でフィンガージョイントされたスギラミナを用いて明らかにしたが、それによると平均値の場合1Jに対して2Jは9%、3Jは11%ほど低下している。この試験ではフィンガージョイント数の増加とともに引張試験のチャック間距離も長くなっているため単純な比較はできないが、1Jに対する3Jの強度低下はほぼ同程度になっている。

次に、ラミナと集成材とを比較すると、FJの位置がそろった2-1Jは1-1Jの13%、2-3Jは1-3Jの10%、それぞれMORの平均値が向上している。また、FJの位置が分散した2-1J2Jと2-2J3Jも、それぞれ2-1J及び2-3Jとほぼ同等の強度増加を示している。バラツキを見ると、2層集成材の変動係数(CV)は4種類の平均で14.9%であり、これは1層(ラミナ)のそれ(20.5%)より明

表 1-1-1 曲げ試験結果の概要

試験体	スパン (cm)	積層数	FJ数 合計	試験数	SG	MOE(I) (GPa)	MOE (GPa)	Ee (GPa)	Ge (GPa)	MOR(MPa)		
										平均	STDEV	CV
1-1J	165	1	1	17/20	0.442	7.26	7.98	7.70	0.90	33.8	6.37	18.9%
1-2J	165	1	2	19/20	0.427	7.42	8.12	8.07	0.90	34.0	7.23	21.3%
2-1J	165	2	2	10/10	0.443	7.38	8.00	7.87	0.88	38.1	4.62	12.1%
2-1J2J	165	2	3	10/10	0.431	7.26	8.05	7.97	0.87	37.6	7.02	18.7%
4-1J2J	165	4	6	10/10	0.446	7.83	8.02	7.95	0.87	34.3	3.95	11.5%
1-3J	220	1	3	19/20	0.435	7.89	8.06	8.20	0.88	30.0	6.38	21.3%
2-2J3J	220	2	5	10/10	0.435	7.88	8.07	8.28	0.84	33.7	5.92	17.6%
2-3J	220	2	6	10/10	0.446	7.80	8.00	8.20	0.87	32.9	3.65	11.1%
4-2J3J	220	4	10	10/10	0.452	8.08	7.98	8.12	0.91	32.3	5.76	17.9%

試験体数：正常な曲げ破壊が生じた試験体数/試験に供した試験体数  
MOE：縦振動法で求めた弾性係数の各条件別平均

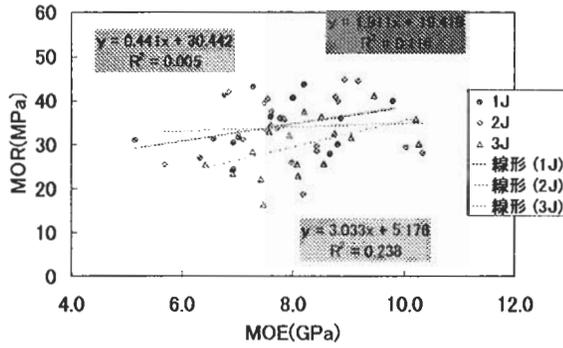


図 1-1-2 ラミナの MOE と MOR の相関関係

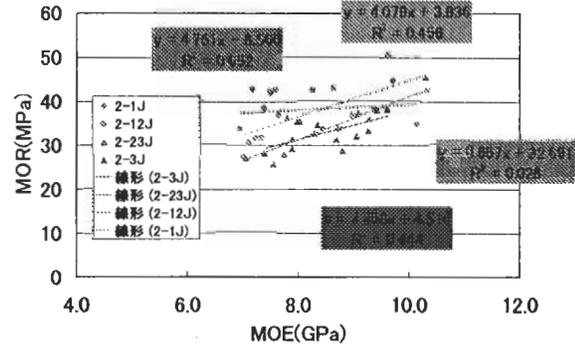


図 1-1-3 2層積層材の MOE と MOR の相関関係

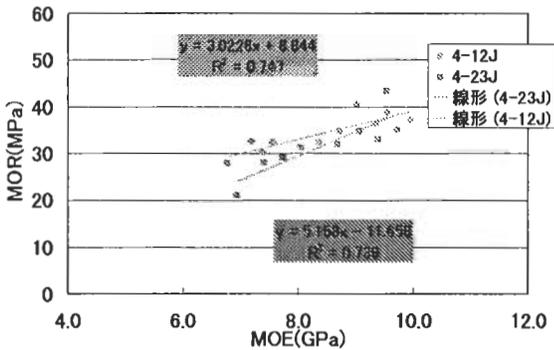


図 1-1-4 4層積層材の MOE と MOR の相関関係

らかに低い。このように、2層集成材では積層効果が顕著である。一方、4層集成材と2層積層材と比較すると、4-1J2Jは2-1J2Jより平均値で9%低く、4-2J3Jは2-2J3Jより4%低い値となっている。これらは、FJの増加によるもの（幅方向の寸法効果）と考えられる。変動係数は、4層の方がわずかに低い（平均で14.7%）ものの、顕著ではなく、これらのデータだけから判断する限り、積層効果は小さいといえる。

ただし、バラツキが大きいものについては、ラミナのようにMOEとMORの相関係数が非常に小さく回帰直線の傾きも小さい場合（図1-1-2）と、4-2J3JのようにMOEとMORの相関係数が高く、かつ回帰直線の傾きの大きい場合（図1-1-4）があった。また、バラツキの小さいものには、2-1JのようにMOEとMORの相関係数がやや小さく回帰直線の傾きも小さい場合と、4-1J2Jのように相関係数が比較的高いものの回帰直線の傾きの小さい場合があった。

## エ 考察

### 積層材の強度シミュレーションモデルの検討

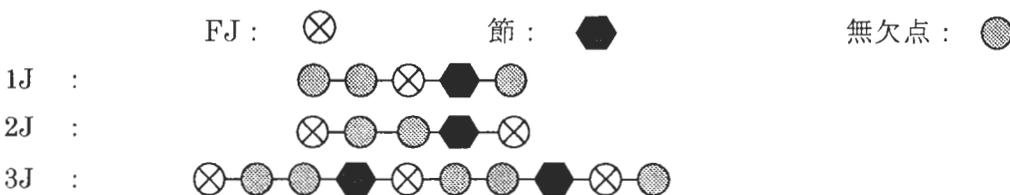


図 1-1-5 シミュレーションモデルの一例

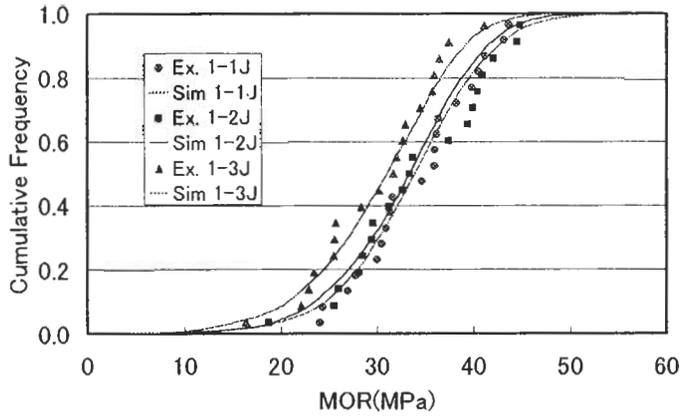


図 1-1-6 FJ 数の異なるラミナの曲げ強さ推定

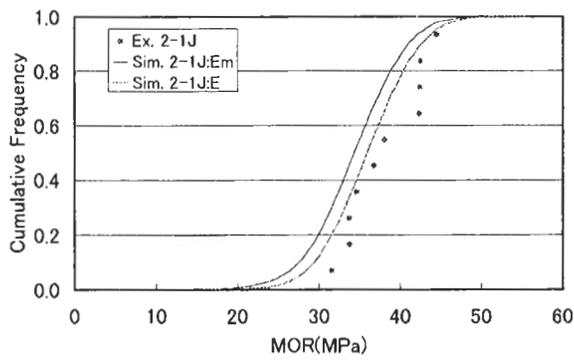


図 1-1-7 2-1J の曲げ強度推定

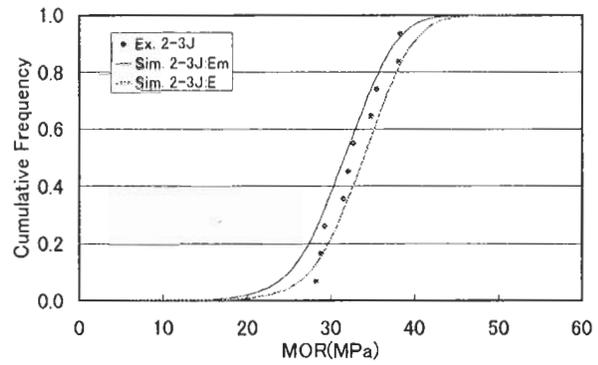


図 1-1-8 2-3J の曲げ強度推定

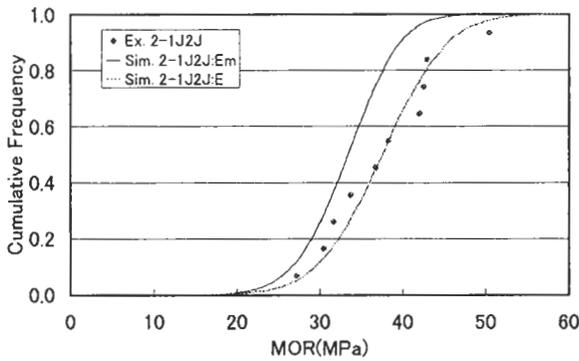


図 1-1-9 2-1J2J の曲げ強度推定

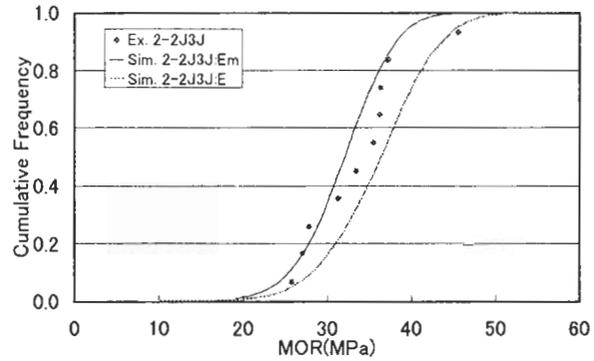


図 1-1-10 2-2J3J の曲げ強度推定

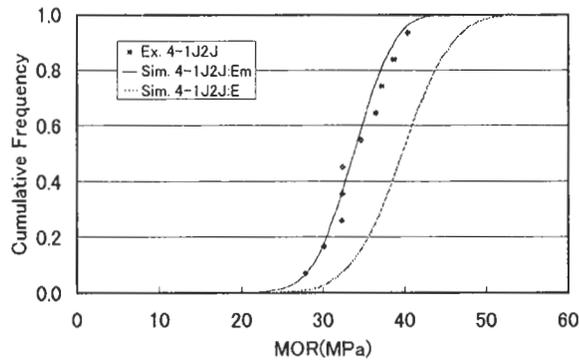


図 1-1-11 4-1J2J の曲げ強度推定

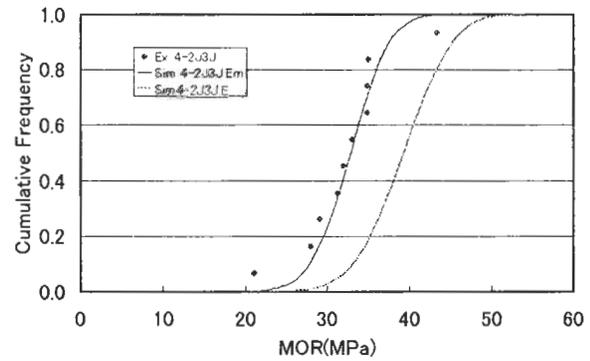


図 1-1-12 4-2J3J の曲げ強度推定

積層材を構成するラミナの強度性能は、フィンガージョイント部 (FJ)、節 (K)、これらの強度的欠陥のない無欠点部 (N) の強度性能からなると仮定する。それらの要素を図 1-1-5 で示す記号で表すと、1Jラミナ、2Jラミナ、3Jラミナは、例えば図 1-1-5 のように示すことができる。また、各要素の強度性能は実験データからフィンガージョイントや節など破壊形態別の強度特性等を累積ハザード法を用いて得ることができる。

ラミナの曲げ試験結果から信頼性解析用パソコンソフト、JUSE-RAS1 (Ver.2.70) (株)日本科学技術研修所製を利用して累積ハザード法で、フィンガージョイント、節、木部の強度分布を得た。これら要素を組み合わせて、モンテカルロシミュレーション法にて FJ 数の異なるラミナの曲げ強さ、FJ の数や配置の異なる積層材の曲げ強さを推定するモデルを考案した。積層材については、積層により隣り合った要素間で補強効果がある場合 (E タイプ) と補強効果を考慮しない場合 (Emタイプ) を想定してモデル化し、シミュレーションを行った。

その結果を図 1-1-6~1-1-12 に示す。FJ 数の異なるラミナの強度分布は、今回のモデルで推定可能であった (図 1-1-6)。また、4層積層材については 1J2J、2J3J とともに補強効果を考慮しないモデルの適応性が高い結果となった (図 1-1-11、12)。これに対して 2層積層材は、積層による効果を考慮したモデルと考慮していないモデルのいずれにも当てはまらず、実験値は両モデルの推定分布の間に分布することがわかった。

#### オ 今後の問題点

FRP板挿入ガセット接着接合法のスリット、梁材のせん断強度の強化、接合部の強化を念頭においた、垂直積層型集成材の強度性能について明らかにする必要がある。

#### カ 要約

JAS 認定工場に依頼して FJ 数の異なるスギ集成材用ラミナ (1-1J,1-2J,1-3J) を製造した。また、これらのラミナを用いて 2層および 4層の垂直積層型集成材を作製した。これらのラミナおよび集成材を 3等分点 4点荷重方式で曲げ強度試験した。

ラミナの曲げ試験結果から競合リスクモデルを応用して F J 部と木材部の要素の強度分布を得た。これらの強度分布を用いて簡単なモデルでシミュレーションすることで、垂直積層型集成材の強度性能が推定できるが明らかとなった。

#### キ 引用文献

- 1) Atsushi Miyatake, Tsuyoshi Fujii (1999) Epoxy-bonded joints for timber member with internal FRP gusset-plates, Proceedings of Advanced Engineered Wood Composites, 18
- 2) 宮武敦 (2000) 「第一回先端の木質複合材に関する国際会議」に参加して、木材工業、55,2,75-77
- 3) 宮武敦、平松靖、林知行、高橋和彦 (2000) 平使い集成材の強度性能 (I) -フィンガージョイントの影響一、第 50 回日本木材学会大会研究発表要旨集、122

(宮武敦、藤井毅)

## 2. 集成・複合部材の最適木取り技術の開発調査

### ア 研究目的

戦後植栽されたスギを中心とする針葉樹造林木は、近年その伐期齢を迎えつつあり、蓄積量が増加してきている。しかし、製品の価格や品質安定性などにおいて外材や代替材との競争力に劣ることから、木材需要に占める国産針葉樹材の割合が低迷し続けている。一方、国民の住宅性能の向上に対する要求が近年一層高まってきていることから、住宅の性能表示とその品質を保証するいわゆる性能規定化が進められている。また、ISO への対応を見据えて建築基準、JIS、JAS などが見直しされつつある。このような背景から、特に今後資源の蓄積の充実が見込まれる国産針葉樹中径木を対象として、その需要拡大を図るための技術および製品の開発を行うとともに、構造設計や国際規格に対応できるその位置づけを性能基準の面から明確にしていく必要がある。

本研究は、スギ等の国産針葉樹中丸太を対象とし、要求される寸法と品質に対応した集成材ラミナや複合部材を製材生産するための最適木取り法を確立することを目的とする。

### イ 研究方法

栃木県産スギ造林木の中丸太（末口径 22 ～ 28 cm）117 本を供試丸太とし、ツイン帯鋸盤による製材を想定して設定した最適と推測された数種の木取り方法を使用して試験製材を行った。すべての丸太および製材品について日本農林規格に準じて等級格付けを行い、丸太 1 本ごとに形量歩止りおよび価値歩止りを求めた。また、製材品の曲がりについても測定を行った。さらに、これらの木取り方法を用いたコンピュータ制御による自動給材・木取り装置付ツイン帯鋸盤（以下ノーマンツイン帯鋸盤）による製材生産における生産能率と生産コストについても検討した。

### ウ 結果

素材の日本農林規格に準じて供試丸太の等級格付けを行った結果、60 %の丸太が 1 等と格付けされ、40 %の丸太が 2 等と格付けされた。

図 1-2-1 に、挽き材試験に用いた最適と推測された基本木取りを示す。木取りⅠは、非等厚のラミナによる集成柱の製造を想定したものであり、丸太の径に応じて、外周部分から厚さ 20, 25, 30, 35 × 幅 112mm（仕上げ寸法 15, 20, 25, 30 × 105mm）のいずれかのラミナを、太鼓部分から 35 × 112mm のラミナを挽いた。15mm 厚ラミナ 3 枚と 30mm 厚ラミナ 2 枚および 15mm 厚ラミナ 1 枚、20mm 厚ラミナ 2 枚と 25mm 厚ラミナ 2 枚をそれぞれ積層することにより、105 × 105mm の集成柱を製造できる。木取りⅡは、ラミナと正角の複合木取りであり、外周部から 26, 40 × 112mm（仕上げ寸法 21, 35 × 105mm）のラミナを、中心部から 112 × 112mm（仕上げ寸法 105 × 105mm）の正角を挽いた。この木取りでは、外周部から高品質の製品が挽けると判断された場合には、ラミナでなくそちらを優先した。木取りⅢは、ラミナと平角の複合木取りであり、外周部から 26, 40 × 112mm（仕上げ寸法 21, 35 × 105mm）のラミナを、太鼓部分から 112 × 187mm（仕上げ寸法 105 × 180mm）の平角を

挽いた。いずれの木取りにおいても、これら主製品を挽いた残りの部分からできる限りの挽き割及び板類を挽いた。なお、木取りⅠでは44本、木取りⅡでは30本、木取りⅢでは43本の丸太を挽き材した。

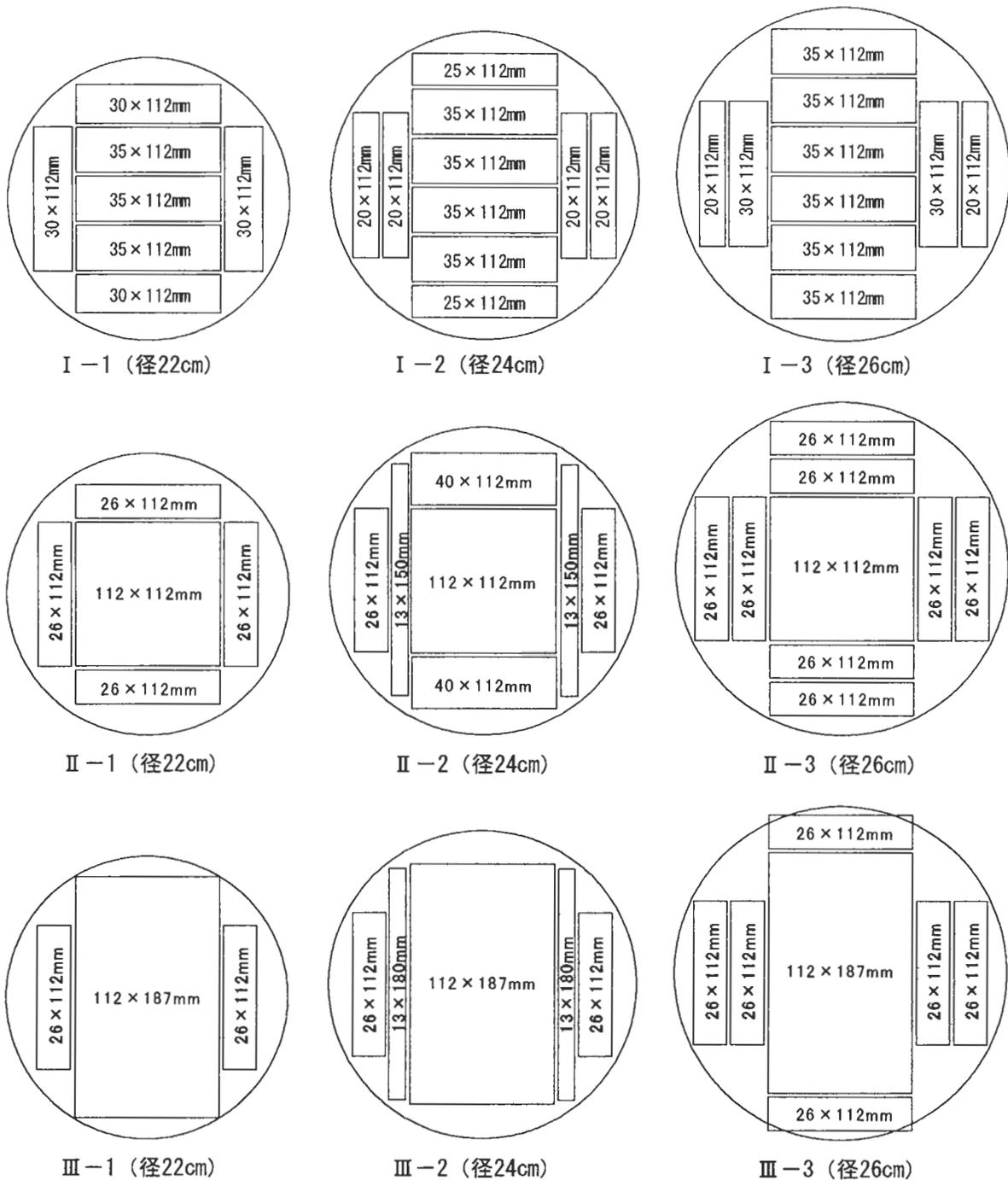


図1-2-1. 基本木取り

木取り別の形量歩止りの結果を表1-2-1に示す。形量歩止りの平均は、木取りⅠで63.1%、木取りⅡで64.3%、木取りⅢで59.2%であった。木取りⅢの形量歩止りが他の2つの木取り

と比べて低かったのは、算出方法によるものである。木取り別の価値歩止りの結果を表 1-2-2 に示す。価値歩止りの平均は、木取り I で 60.3%、木取り II で 71.2%、木取り III で 57.5% であった。木取り I の価値歩止りが他の 2 つの木取りと比較して高い結果となったのは、外周部から高品質の製品が挽けると判断された場合にラミナでなくそちらを優先したことによる。

表1-2-1. 形量歩止り (%)

径 級 \ 木取り	I	II	III
22~24cm	62.8	64.4	60.4
26~28cm	63.4	64.3	58.1
平均	63.1	64.3	59.2

表1-2-2. 価値歩止り (%)

径 級 \ 木取り	I	II	III
22~24cm	59.4	61.3	57.8
26~28cm	61.2	78.7	57.2
平均	60.3	71.2	57.5

図 1-2-2 および 1-2-3 に木取り I を用いて挽き材した丸太の太鼓部分から得られた製品における樹心からの距離と挽き材直後と人工乾燥後のそり (bow) および曲がり (crook) の関係をそれぞれ示す。人工乾燥後、そりはかなり小さくなったが、曲がりほとんど変化しなかった。これは、人工乾燥時の栈積みの方法によるもので、そりを抑制するように栈積みするからである。

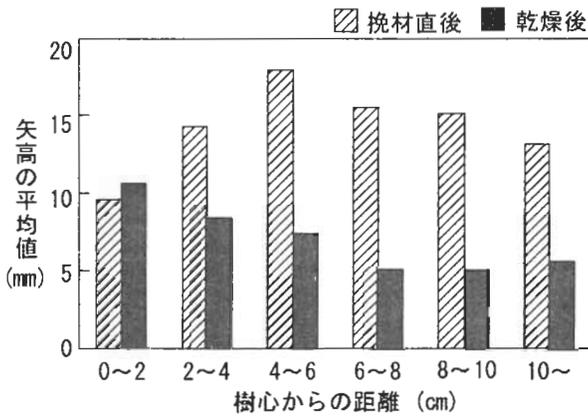


図1-2-2. 樹心からの距離とそりの関係(木取り I)

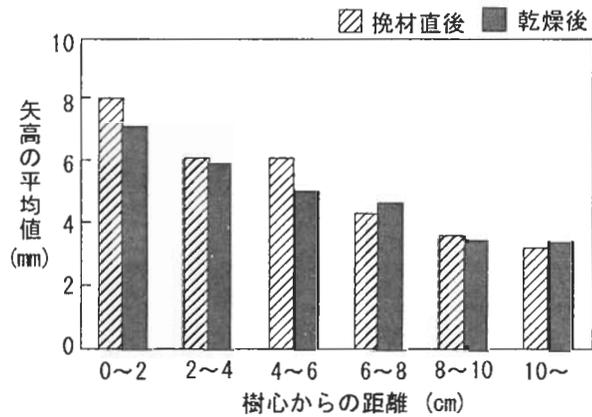


図1-2-3. 樹心からの距離と曲がりの関係(木取り I)

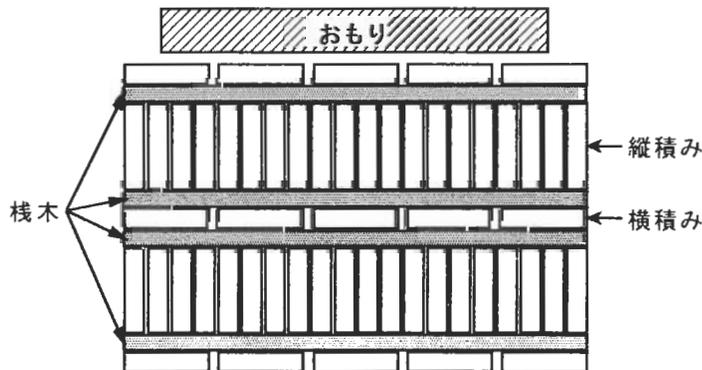


図1-2-4. 栈積み方法

そこで、木取りⅡを用いて挽き材したラミナについて、図 1-2-4 に示す積み方法で人工乾燥した。その結果、縦積みすることにより曲がり抑制された(図 1-2-5,1-2-6)。このことから、人工乾燥時の積み方法を工夫することにより曲がりも抑えることができる可能性があることが明らかとなった。

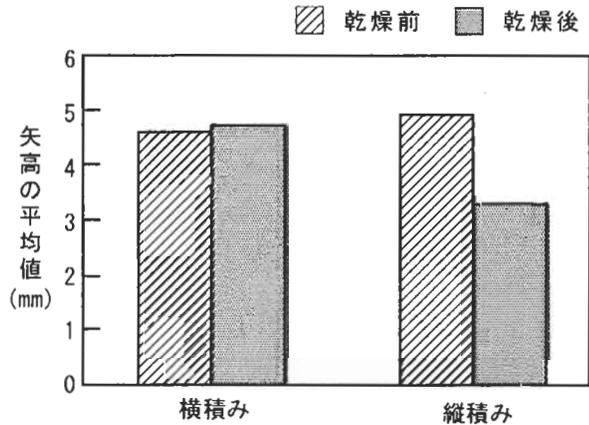


図1-2-5. 乾燥前後の曲がり(crook)の大きさの積み方向による違い

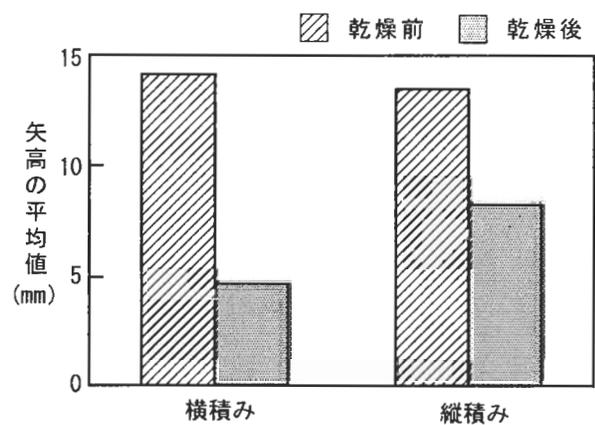


図1-2-6. 乾燥前後のそり(bow)の大きさの積み方向による違い

木取りⅠにおける太鼓部分の中心と樹心との距離別に製品の採材位置と曲がりの関係を図 1-2-7 に示す。太鼓部分の中心と樹心との距離  $t$  が大きくなるほど製品の曲がりは大きかった。これにより、樹芯をできる限り太鼓部分の中心となるように配慮して木取りを設定することにより歩止りが向上できると考えられた。

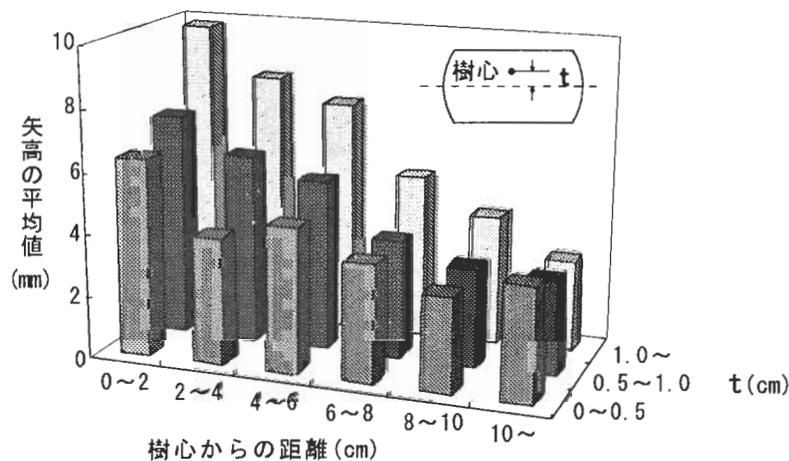


図1-2-7. 製品採材位置と曲がりの関係(木取りⅠ)

ノーマンツイン帯鋸盤で製材したと仮定したときの木取り別の生産能率を表 1-2-3 に示す。生産能率は、基本的に 1 本の丸太あたりの挽き材回数に左右される。木取りⅠとⅡではノーマンツイン帯鋸盤での丸太 1 本あたりの挽き材回数が 5 回、木取りⅢでは 4 回である。1 日あたりの丸太処理数は、木取りⅠとⅡでは 308 本、木取りⅢでは 377 本であった。1 日あたりの処理材積は、それぞれ  $65\text{m}^3$ 、 $79\text{m}^3$  であった。また、年間処理材積は、それぞれ  $15,536\text{m}^3$ 、 $19,044\text{m}^3$  と計算された。

表1-2-3. 木取り別生産能率(ノーマンツイン帯鋸盤)

	木取り I	木取り II	木取り III
挽き材回数(回/本)	5	5	4
挽き材時間1(秒/回)	20	20	20
挽き材時間2(秒/回)	14	14	14
丸太1本の時間(秒/本)	76	76	62
丸太処理数・日(本)	308	308	377
処理材積・日(m <sup>3</sup> /日)	65	65	79
処理材積・年(m <sup>3</sup> /年)	15,536	15,536	19,044

注) 径24cmを基準丸太とした。

表1-2-4. 木取り別生産コスト

	木取り I	木取り II	木取り III
原木代(円/原木m <sup>3</sup> ) ①	19,000	19,000	19,000
工場労務費(円/原木m <sup>3</sup> ) ②	1,704	1,704	1,363
電力費(円/原木m <sup>3</sup> ) ③	687	687	550
減価償却費(円/原木m <sup>3</sup> ) ④	1,508	1,508	1,207
その他経費(円/原木m <sup>3</sup> ) ⑤	754	754	603
小計(②~⑤)(円/原木m <sup>3</sup> ) ⑥	4,654	4,654	3,723
平均歩止り(%) ⑦	63	64	59
(① + ⑥)/⑦(円/製品m <sup>3</sup> )	37,546	36,959	38,514

表 1-2-4 は、ノーマンツイン帯鋸盤で製材したと仮定したときの木取り別の生産コストを示している。生産コストは、工場設備、人件費などによって異なってくるが、ここでは、ノーマンツイン帯鋸盤による製材の一般的な設備を基に生産コストを算出した。原木 1m<sup>3</sup>当たりの製材コストは、木取り I と II では 4,654 円、木取り III では 3,723 円と見積もられた。また、製品 1m<sup>3</sup>あたりの生産コストは、木取り I, II, III でそれぞれ 37,546 円, 36,959 円, 38,514 円と見積もられた。

## エ 考察

山形、茨城、栃木、埼玉の各県の原木市場から購入した中丸太 384 本の丸太等級別割合は 1 等が 36%、2 等が 61%、3 等が 3%であったという報告(村田 1995)と比較して、本研究では 1 等が 60%、2 等が 40%と 1 等丸太の割合が高い。両研究とも等級込みで購入しているが、産地の違いおよび購入時期の違いによりこのような結果になったものと考えられる。

スギ中丸太の製材歩止りは、主に一般建築材を製材したときの形量歩止りが平均 56 ~ 66%、価値歩止りが平均 58 ~ 98%(村田, 西村, 藤原 1989, Murata, Nishimura, and Fujiwara 1990), 2 × 4 材を製材したときの形量歩止りが平均 64%, 価値歩止りが平均 48% (Murata *et al* 1999) と報告されている。また、集成材用ラミナを製材したときの形量歩止りが平均 57%, 価値歩止りが平均 53%と報告されている (Murata *et al* 1999)。本研究では形量歩止りの平均が木取り I で 63.1%, 木取り II で 64.3%, 木取り III で 59.2%と過去の報告と比較して同程度であった。過去のラミナの結果 (Murata *et al* 1999) と比較すると本研究の結果のほうが高かった。これは、前者が等厚のラミナによる集成柱を前提したものであり、後者が非等厚のラミナによる集成柱を前提にしたものであることによる。1 本の丸太から同一サイズの製品だけ製材するよりも複数のサイズの製品を製材するときのほうが形量歩止りは高くなる。価値歩止りは、造作材といった高品質で価格の高い製品を製材できたかによって大きく左右される (村田, 西村, 藤原 1989, Murata, Nishimura, and Fujiwara 1990)。本研究でも、外周部から高品質の製品が挽けると判断された場合にラミナでなくそちらを優先した木取り I で価値歩止りが高かった。価値歩止りだけを考慮すればできるだけ外周部から高品質の製品を多く挽く木取りを採用すればよいことになるが、この場合、能率が低下する。したが

って、あらかじめ丸太の形質により選別し、高品質の製品が多く挽けると期待できる丸太には価値歩止り重視の木取りを、それ以外の丸太には能率重視の木取りを採用する必要がある。

木材の乾燥では、乾燥による変形を抑制するために製品の積積みの上に重しを載せて乾燥する（森林総合研究所監修 2004）。これにより荷重が鉛直方向に働くため、曲がりや抑制したい場合は縦積みに、そりを抑制したい場合は横積みにすればよいことになる。本研究の結果では、縦積みの場合に曲がりやが抑制されるばかりでなく、そりもある程度抑制されたことから、縦積みは製品の変形の抑制に有効な手段といえる。

製材生産の能率は、製材機械の仕様および使用原木の形質が同じであれば、採用する木取りの影響を受ける。つまり、1本の丸太の鋸断回数と木返し数の影響を受ける。そのため、本研究では、鋸断回数の少ない木取りⅢの生産能率が高いという結果となった。

生産コストを比較する場合、原木価格の影響を受けないように、製造経費（工場労務費、電力費、減価償却費、その他）で比較することが多い。本研究における製材コスト（製造経費）は、木取りⅠで製品 1m<sup>3</sup> 当たり 7,387 円、木取りⅡで製品 1m<sup>3</sup> 当たり 7,272 円、木取りⅢで製品 1m<sup>3</sup> 当たり 6,310 円と見積もられた。北関東にスギ製材の製材コストの例では、製造経費が製品 1m<sup>3</sup> 当たり 10,830 円と報告されている（西村 1998）。工場設備、使用原木、使用木取り、製品種類が異なるために単純に比較することはできないが、本研究における製造経費のほうが低く見積もられた。

#### オ 今後の問題点

集成材ラミナや複合部材として求められる寸法と品質に応じた製材品を生産するための最適な木取りパターンを示し、試験製材によりその製材歩止り並びに生産能率と生産コストを明らかにした。しかし、示した最適な木取りパターンを用いた製材における製品の木取り部位と強度性能の関係については明らかにされておらず、今後の資料の蓄積が必要とされる。

#### カ 要約

スギ中丸太を対象とし、要求される寸法と品質に対応した集成材ラミナや複合部材を製材生産するための最適木取り方法について検討した。

栃木県産中丸太 117 本を供試丸太とし、非等厚ラミナ集成材用ラミナを主製品とする木取りⅠ、ラミナと正角を主製品とする木取りⅡ、ラミナと平角を主製品とする木取りⅢの 3 種類の木取りを用いて挽き材した。形量歩止りの平均は、木取りⅠで 63.1%、木取りⅡで 64.3%、木取りⅢで 59.2%であった。価値歩止りの平均は、木取りⅠで 60.3%、木取りⅡで 71.2%、木取りⅢで 57.5%であった。人工乾燥時に製品を縦積みすることにより曲がりやが抑制され、積積み方法を工夫することにより曲がりやも抑えることができる可能性があることが明らかとなった。木取りⅠにおいて、太鼓部分の中心と樹心との距離が大きくなるほど製品の曲がりやは大きくなる傾向を示し、樹芯をできる限り太鼓部分の中心となるように配慮して木取りを設定することにより歩止りが向上できると考えられた。3 種類の木取り方法では、木取りⅢにおいて、製材能率が最も高く、製材コストが最も低かった。

キ 引用文献

- 1) 村田光司, 西村勝美, 藤原勝敏(1989)スギ中丸太の製材—形質別木取りと歩止り—, 木材工業, 44(1), 13-18
- 2) Murata, K., Nishimura K., and Fujiwara, K. (1990) Conversion of Middle Diameter Sugi Logs into Sawn Lumber -Sawing yield by using sawing patterns in consideration of log quality-, Proceedings of Division 5, XIX IUFRO World Congress, 234-243
- 3) 西村勝美(1998)製材マーケットの構造変化とスギ材工場の動態, 東北支所たより, No.416, 1-4
- 4) 村田光司(1995)スギ中丸太の製材試験, 木工機械, No.166, 7-10
- 5) Murata, K. et al (1999) Lumber Yields from Sugi Logs, Proceedings Volume 2, 14th International Wood Machining Seminar, 671-679
- 6) 森林総合研究所監修(2004)乾燥操作の方法, 木材工業ハンドブック, 丸善, 317-319

(村田光司, 伊神裕司, 松村ゆかり)

### 3 集成・複合部材の最適乾燥技術の開発調査

#### ア 研究目的

スギ人工林に代表される国産針葉樹等から生産される住宅用材は、従来の無垢材にとらわれることなく、集成材等の複合部材もシェアを伸ばしつつある。今後は、従来からの軸組工法用にとらわれない様々な断面をもった部材が出現することが予想される。本研究では、これらのことを受けて集成材用ラミナ等の様々な製材断面の違いに適応した乾燥方法の開発を行うため実態調査を行い、調査に基づくデータを用いて、今後実用可能なラミナ等針葉樹板材、割材の乾燥工程を開発することを目的とした。

#### イ 研究方法

##### (ア) 樹種と材種の調査

人工乾燥スケジュール作成のために樹種や材種の情報が必要である。これは効率的に乾燥工程を作成するためである。ここでは林業地域としての地位が従来から得られている静岡県天竜川流域<sup>1)</sup>の天竜木材産地協同組合を通して木材関連業種各社に対して「乾燥材に対する基礎調査」の一環として、取り扱っている樹種、材種等についてアンケート（対象 69 社、うち回答 36 社、回答率 52%）で調査を行った。

##### (イ) 一般住宅の部材含水率

最適乾燥工程を開発するためには、長期間を経た住宅部材の含水率を測定して、住宅部材の性能を活かす理想的な含水率の値を確かめる必要がある。住宅部材の含水率調査は過去の例があったが<sup>2~5)</sup>、一般住宅の部材を測定した例はなかった。ここでは、解体直前の住宅構造部材の含水率調査を行い、土台、根太、柱、梁、桁および束等構造部材を対象に測定した。調査対象住宅は解体直前の一般木造住宅とした。

##### (ウ) 恒温恒湿室内における乾燥材の寸法変化

木材は周囲の温湿度条件に対応して吸放湿を行い、湿度変化を抑える働きを利点としてもっている。ここでは、人工乾燥により中心部まで気乾状態に調整した板材を用いて、湿度条件によって変化する寸法を恒温恒湿室内で測定した。これは、たとえ十分に乾燥した木材でも表面の吸放湿度によって寸法の変化が生じることを立証するためである。

試験材は人工乾燥したスギ材を用いた。板材（板目）は幅 100mm、厚さ 20mm、材長は 200mm とした。両木口はコーティングした。寸法変化の測定を行う前は、試験材を温度 20℃、湿度 65% (EMC=12%) に放置して含水率を調整をした。試験に用いた恒温恒湿室内の条件は以下のように設定した。温度は各条件とも  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  とし、① 住宅室内の冷暖房等を想定した湿度  $45 \pm 5\%$  (EMC=9%)、② 平衡含水率が国内の平均的な 15% になる湿度  $75 \pm 5\%$ 、および、③ 結露等が考えられる大壁の内側等を想定した湿度  $90 \pm 5\%$  (EMC=22%) の 3 条件とした。

#### (エ) 内装材および集成材製造工場の調査

ラミナ等板材の最適乾燥工程を考案するためにスギを用いた内装材および集成材を製造している工場の製造工程を調査した。いずれも自社で乾燥処理を行い、最終製品まで製造している工場を選択した。内装材製造工場は静岡県天竜流域のA社とした。A社はスギ板材を用いて壁材や床板材を製造する工場である。集成材工場は宮崎県耳川地区のB社とした。B社は、耳川流域内におけるスギを主体とした中目材の高度利用・活用を図った大断面集成材工場である。

#### (オ) 含水率管理を行うための携帯型含水率計精度試験

木材の水分量を測定するには重量、振動、電気等の物理量を変換する方法が提言されている<sup>6-8)</sup>。しかし、一般製材工場で簡便性、安全性、経済性を兼ね備えるという条件では携帯型の含水率計を使用する場合が少なくない。ここでは乾燥材の含水率管理という目的で使用する場合を想定して携帯型含水率計の測定表示値と全乾法含水率の値を比較して精度を検討した。

試験材はスギ材とした。含水率計の精度を試験する前に人工乾燥を行い、含水率を8~20%に調整した。乾燥後、試験材のサイズは板材を想定した幅110mm、厚さ30mm、長さ300mmおよび柱材を想定した厚さ110mm、長さ300mmに加工した。測定器は株式会社kett科学研究所製のHM-520とした。この機種の様子は使用周波数20MHzの高周波容量式である。HM-520では測定時に、取り扱い説明書にしたがって、密度、材温および材厚を合わせた。また、30mm厚材の試験では同社製の直流抵抗式木材水分計MT-8Sを比較のために用いた。

#### (カ) 樹種材種別の乾燥スケジュール作成

針葉樹ラミナ等を接着して複合部材にするためには、必ず材中の水分を所定の含水率まで乾燥しなければならない。乾燥方法は一般的に、天然乾燥と人工乾燥がある。接着性能を最大限活かすためには含水率を9~12%に管理する必要がある。この管理を行うためには人工乾燥が必ず必要である。ここでは(ア)から(オ)の調査および試験結果を参考にして、樹種別および材種別の人工乾燥工程を作成した。乾燥工程は樹種とその材質に合わせる必要がある。たとえば、マツ材のように伐採直後から青変菌が入りやすく、材内にヤニを含む樹種は製材後、直ちに蒸煮処理と人工乾燥を行う必要がある。また、スギ材のように青変菌は入りにくいですが製材直後の含水率が高く、バラツキの大きい樹種では、人工乾燥前に天然乾燥を行う方が乾燥後の不良率が少ない。ここでは樹種によって人工乾燥のみ、天然乾燥と人工乾燥を組み合わせる方法を開発した。また、人工乾燥スケジュールは生産現場で即時に使えるように時間経過毎に温度と湿度を変える方式にした。

## ウ 結果

### (ア) 樹種と材種の調査

#### a. 樹種および生産量

表 3-1-1 はアンケートに回答してきた業種の内訳である。このように主に製材業が多かった。表 3-1-2 は複数回答で記載された対象樹種である。内訳はスギ 24 社、ヒノキが 22 社、ベイマツ、ベイツガ、ホワイトウッドを合わせて 21 社、その他国産マツや欧州アカマツがそれぞれ 2 社、4 社であった。また、同じく取り扱っている材種は表 3-1-3 に示すように、構造用製材品が 25 社、下地用製材品が 23 社、内装用壁板が 17 社、造作用製材品が 15 社、その他数社が家具用材や建具用材であった。このように天竜木材産地協同組合ではスギ、ヒノキ等の国産材を主とした住宅用材が主たる製品が生産されていた。表 3-1-4 は材種別の月間生産量である。表にみられるように天竜地域では板材の生産量が多かった。

#### b. 製材業を対象とした生産量

製材業の生産量をまとめると次ぎのようになった。これはアンケートのなかで具体的に材種別に生産量が記入された 21 社のデータから作成したものである。図 3-1-1 は国産材および外国産材の両方を含む製材業全体の月間産量  $4636\text{m}^3$  のうち、生産材種割合を示したものである。図から読み取れるように、梁、柱、土台等の住宅用構造部材の生産率は 39%であった。間柱、住宅用下地等の羽柄材が 38%、そして内装用材や敷居・鴨居の造作材は 20%であった。また、国産材専門の製材業 15 社では、月間製材量  $3,335\text{m}^3$  のうち構造材が 39%、羽柄材が 22%、造作材が 35%であった。一方、流通業 6 社の流通形態をみると月間  $1256\text{m}^3$  の流通のうち構造材が 77%を占めた。

#### c. 調査全体の出現材寸法

表 3-1-5 は調査全体の出現材寸法すなわち、材種を木口の短辺と長辺のマトリックス上で数値化したものである。また、同表には材長も加えられている。木口の短辺である材厚で多くみられたのは 15mm, 27mm, 30mm, 45mm, 105mm, 120mm であった。木口の長辺である材幅は 45mm, 90mm, 105mm, 120 mm, 150 mm, 180 mm が比較的多く出現した。図 3-1-2, 図 3-1-3 に表 3-1-5 を基にした材厚と材幅の出現分布を示す。材長の出現は図 3-1-4 にみられるように 3m および 4m が比較的多かった。

### (イ) 一般住宅の部材含水率

調査対象住宅は一般の木造住宅とした。この対象住宅は埼玉県さいたま市に建築された木造軸組構造のモルタル 2 階建てである。図 3-1-5 に対象住宅の平面図を示す。敷地面積は  $64\text{m}^2$ 、南側は隣の敷地まで約 4m 幅の前庭があり、建坪は約  $30\text{m}^2$  であった。家屋の 4 壁面はほぼ東西南北に面していた。上棟は昭和 48 年 7 月、測定時の段階で築 28 年 4 カ月を経過していた。コンクリート布基礎の高さは約 30cm、床下換気口（サイズ  $11\times 24\text{cm}$ ）は東側に 1 カ所、西側 1 カ所、南側 2 カ所そして北側 1 カ所の合計 5 カ所であった。

図 3-1-6 は埼玉県与野市の調査対象住宅を東正面から見たときの断面図（図 3-1-5 中 A-B を結ぶ東西中央部）である。構造部材の樹種は主にベイツガであり、その他ベイマツ、国産マツ、スギが使用されていた。図中に部材に対照となるように全乾法含水率の値を示した。この住宅の事例では含水率は南面と北面とで大きな差はみられなかった。また、長期間に渡って平衡に達した住宅部材の含水率は樹種や材種に影響されなかった。図に示すように、基礎部分にあたる床下の隠れた土台、根太等の含水率は 16～17%であった。軸組部分にあたる 1 階居室は床に近い柱の含水率が 14%で、その垂直方向における柱中央部分と天井に近い断面含水率は 13%であった。また、軸組 2 階部分および小屋組にあたる部分は約 12%であった。図 3-1-7～10 に今回測定した、土台部分、1 階部分、2 階部分、小屋組に現れた含水率の分布を示す。これらの値は平均値に対して上下 2%の範囲内にほとんどの部材が含まれた。

#### （ウ）恒温恒湿室内における乾燥材の寸法変化

試験に使用した板目の板材の平均含水率は、温度 20℃、関係湿度 65%の恒温恒湿室（平衡含水率 12%）で調湿した段階で板材は 11.3%であった。試験材の内層と外層の含水率傾斜は最大 1.6%であった。

図 3-1-11 は恒温恒湿室内における板材の幅方向の平均寸法変化量である。試験経過時間が 90 日で、関係湿度 45%の恒温恒湿室内に放置した柱材の幅寸法は約 0.4mm 収縮した。また、関係湿度 90%の恒温恒湿室内に放置した場合には約 1.2mm 膨張した。関係湿度 75%の恒温恒湿室内では約 0.2mm 膨張した。この寸法変化は試験開始後約 30 日でほぼ最終的な寸法変化量に達した。また、厚さ方向の寸法変化は図 3-1-12 に示すとおり、収縮側が約 0.1mm、膨張側は 0.2mm であった。

図 3-1-13 は試験材の水分吸湿および放湿量の変化を表している。これは試験材の吸放湿量を平方メートル単位面積あたりに換算したものである。この経過は水分の吸放湿であるから含水率変化に比例する。関係湿度 45%の恒温恒湿室内における試験材の放湿は、試験経過時間 20 日間で平方メートル当たり約 60 g の水分に換算された。関係湿度 90%の恒温恒湿室内における吸湿は 100 g の水分に換算された。

#### （エ）内装材および集成材製造工場の調査

A 社におけるスギ壁材、床材の乾燥工程は次の通りであった。A 社工場隣の製材工場で製材された未乾燥原板（材厚 13mm）を A 社内で棧積みを行い、棧積みに屋根を掛けた状態で天然乾燥を 2～3 ヶ月行い、その後人工乾燥を 5 日間行うことにより所定の含水率に調整した。乾燥終了時の含水率は 15%以下で管理され、養生期間を経た後製品に加工された。出荷用製品の含水率は 12%以下で管理されていた。

図 3-1-14 は A 社工場内において無作為に選んだ 20 枚の壁板用乾燥原板の含水率分布である。平均値は 15%であった。この含水率状態から最終製品加工工程に移るまでに、生産状況にもよるが、時間の経過がある。図 3-1-15 は同じく無作為に選んだ 20 枚の最終製品の含水率分布である。このように製品になる過程でも乾燥が進み最終的に平均 12%の管理含水率となっていた。

B社集成材工場における大断面集成材用のスギのラミナ（材厚 30mm）の乾燥工程は、写真 3-1-1 のように整然とした栈積みで天然乾燥を 3～4 週間行い、含水率を 30～50%に揃えた後、乾燥温度 80℃で 5～6 日人工乾燥を行っていた。乾燥終了時の含水率は 8～11%で管理されていた。その後、ラミナ加工前の養生は栈積み状態で 1～2 週間屋根付きの場所で行っていた。接着性能を活かすためには一般的に含水率 9～12%とされていることから考えると、B社の乾燥工程は大断面集成材を生産するための理想的なモデルと考えられた。

A社では製材時の歩増しについても調査を行い、製品加工時の削り残しなしという条件で安全率を考慮すると、製品寸法に対して厚みで 30%（幅ぞりに対する保証値）、幅で 10%（縦ぞりに対する保証値）、長さで 5%の歩増しであった。この工場では一般的な製材時の歩増値よりも大きく感じられるが、最終製品が室内用造作材ということから、製品加工後の削り残しによる不良率をなくすこと、製品に高品質が望まれること、建築材よりは生産コストを高めに設定できること等が理由と思われた。

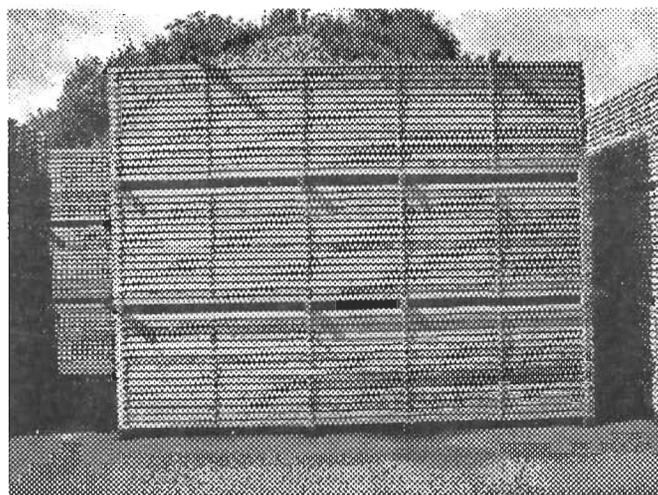


写真 3-1-1 スギラミナ用材の天然乾燥

#### （オ）含水率管理を行うための携帯型含水率計精度試験

図 3-1-16 は全乾法含水率が 20%を下回ったときの 30mm 板材の表示値と全乾法含水率との関係を表している。高周波容量式の測定器は木材の含水率と誘電率の間に相関関係があることを原理としている。<sup>8)</sup> そのため、図 3-1-16 おける高周波容量式の表示値と全乾法含水率の誤差は、同じ値の全乾法含水率を示す試験材を測定した場合、密度の各個体差と若干の含水率傾斜が影響していたと考えられる。また、図 3-1-16 のように指数関数で検量線を与えれば精度が増すと考えられた。

図 3-1-17 は気乾密度の分布である。全体数の 90%は 0.34-0.46g/m<sup>3</sup>に含まれていたが、0.50g/m<sup>3</sup>を越えるものも出現した。これは針葉樹が傾斜地等で生育した場合等に現れる圧縮あて材と考えられた。

図 3-1-18 は含水率 8～12%の時ににおける気乾密度と表示値と全乾法含水率の差を表している。スギ材の場合、含水率 15%の材を測定したとき、密度 0.40～0.60g/m<sup>3</sup>の間で 4.5%の差が生じるといわれている<sup>8)</sup>。今回の測定では含水率 8-12%の板材であったが同じ密度

範囲で 14%の差がみられた。この差は密度が高くなるにしたがっておおきくなり指数関数の近似式が当てはめられた。この測定器がスギを対象としたときの密度を 0.34 に設定してあることを考えると気乾密度  $0.34 \pm 0.02$  の範囲では±1%の誤差であった。この同一密度における誤差は密度測定の際の小試験片中に密度分布があったためと思われる。

図 3-1-19 は高周波容量式の測定器と抵抗式の測定器を用いて同一の試験片を測定したときの表示値の差を表している。含水率 8~10%の範囲でみると抵抗式の方が全乾法含水率と合っていた。抵抗式の測定器は密度に影響されないので高密度材のものも実際の含水率に近い値を示した。ただし、抵抗式の場合は材温が表示値に影響するため本試験のように室温に近い状態で測定しなければならないという条件がある。高周波容量式でも補正機能で+1 に設定すれば、高密度材を除いて、抵抗式の精度と大きく変わりはないと考えられた。

### (カ) 樹種材種別の乾燥スケジュール作成

#### a. 天然乾燥期間

ここで示す天然乾燥期間は、天然乾燥後に人工乾燥を行うことを前提としたものである。特に同材種のうちでも重量が重くスギのような高含水率材を集めた棧積みは天然乾燥処理を行う。乾燥中に狂いが予想される製材の場合には狂い防止用の荷重を載荷させてから屋根をかけて固定する。材厚に応じた標準天然乾燥期間を以下に示す。目標含水率は約 25%である。

①	材厚	10~20mm	・・・	約 30 日
②	材厚	20~40mm	・・・	約 45 日
③	材厚	40~60mm	・・・	約 60 日

#### b. 人工乾燥前の工程および注意点

棧積み後、直ちに乾燥装置に積み込まないで待機させる場合には、表面の乾燥による材の割れに注意する。見かけ上は割れていなくても表面が乾燥した材は割れが生じやすいので、人工乾燥前には乾かさないう工が必要である。乾燥方法は対象樹種、製品の品質そして人工乾燥前の含水率状態によって異なる。次に乾燥材製品を生産する原板の乾燥工程前の注意点を示す。

- ① スギ材は生材時点での含水率範囲が 50~250%と広いいため天然乾燥を行ってから人工乾燥処理をすることが望まれる。生材から人工乾燥を行う場合にはできるだけ含水率を揃え、高含水率材の混入は避けるようにする。
- ② ヒノキ、アカマツ等は、通常の生産工程では天然乾燥を省く。
- ③ アカマツ等のように生材の状態では材の変色（青変菌による）が

生じやすい樹種は、製材後直ちに人工乾燥処理する。

- ④ マツ類のように材内にヤニ成分が多く含まれる材については、乾燥初期に必ず蒸煮処理を行う。
- ⑤ 材色が珍重される場合は蒸煮処理や 70℃を超える人工乾燥は行わない。
- ⑥ 葉枯らし材や屋外待機により乾燥が進んだ材は表面割れが生じやすいので、人工乾燥操作の初期に蒸煮処理を行う。

#### c. スギ材の人工乾燥スケジュール

ここで示す乾燥スケジュールは時間が経過することによって温度と湿度が変化するタイムスケジュールである。これらのスケジュールは昼夜連続運転の目安であり、各工場では乾燥装置に実状や乾燥の仕上がり状態に合わせて各ステップの持続時間を増減させる必要がある。

スギ材は他の樹種とは異なる含水率の特徴があるので他の樹種とは別に示した。下記の項目に留意して、表 3-1-6～3-1-11 の中から、最終製品・材料に合わせて最適なスケジュールを選択する。

- ① 表 3-1-6～3-1-8 のスケジュールは原板材厚 10～20mm を対象とする。
- ② 表 3-1-9～3-1-11 のスケジュールは原板材厚 20～60mm を対象とする。
- ③ 表 3-1-6, 表 3-1-9 は材色変化を極力抑える製品の原板を対象とする。
- ④ 表 3-1-7, 表 3-1-10 は材色変化が多少あることに対して支障がない製品の原板を対象とする
- ⑤ 表 3-1-8, 表 3-1-11 は材色変化を容認し、乾燥時間を短縮したい場合の原板を対象とする。

#### d. ヒノキ材およびマツ類材の人工乾燥スケジュール

下記の項目に留意して、表 3-1-12～3-1-21 の中から、最終製品・材料に合わせて最適なスケジュールを選択する。

- ① 表 3-1-12～表 3-1-16 のスケジュールは各樹種の原板材厚 10～20mm が対象。
- ② 表 3-1-17～表 3-1-21 のスケジュールは各樹種の原板材厚 20～60mm が対象。
- ③ 表 3-1-12, 表 3-1-17 はヒノキ材の材色に化粧的な価値を持たせる場合。
- ④ 表 3-1-13, 表 3-1-18 は材色変化を抑える製品の原板を対象。
- ⑤ 表 3-1-14, 表 3-1-19 は材色変化が支障のない原板を対象。
- ⑥ 表 3-1-15, 表 3-1-20 は材色変化を容認し乾燥時間を短縮したい場合を対象。
- ⑦ 表 3-1-16, 表 3-1-21 は、さらに乾燥時間を短縮したい場合を対象。

#### e. 製材原板の寸法

乾燥製品を生産するためには、製材後の乾燥にともなう収縮、曲がりそして狂い等を考慮して、原板の製材寸法を決めなくてはならない。また、原板の厚さ、幅、長さは樹種により適正な寸法を選択する必要がある。

表 3-1-22 は製品厚さに対する原板厚さである。原板厚は製品寸法の 30～40%増しと想定

した標準寸法である。表 3-1-23 は製品寸法に対する原板幅である。原板幅 は製品寸法の 10～15%増しと想定した標準寸法である。表 3-1-24 は製品寸法に対する原板長さである。原板長は製品寸法の 5%増しと想定した標準寸法である。

表 3-1-25 に製品寸法にするために収縮率分を想定したときの歩増しを参考として示した。乾燥による歩減りは約 4～5%である。これに乾燥時の狂い（幅ぞり, 縦ぞり等）を想定し、さらに寸法決めの削りしろを加えればよい。

#### f. 含水率管理

乾燥材の全乾法による含水率管理は以下の通りを行う。

- ・含水率管理は乾燥材生産を始めた当初は乾燥後十分養生した 100 枚程度のロットからランダムに 10 本程度を抜き取って全乾法で含水率を測定をする。
- ・天然乾燥のとき選択した試験材も確認のため含水率を測定する。
- ・構造材は含水率 15～20%になるように管理する。
- ・羽柄材や造作材は、目標含水率に対して±2%で含水率 15%以下になるように管理する。
- ・含水率 9～12%の範囲で含水率管理を行えばラミナ用製材品が生産できる。

乾燥材の含水率計による含水率管理は以下のように行う。製材工場で同一の樹種、材種で同一の人工乾燥スケジュールを用いて人工乾燥材を継続的に生産した場合、乾燥時間によって含水率の予測をつけ含水率計で含水率管理を行うことが可能である。

含水率の確認は、全乾法による含水率の値と測定標示値とを対比し、含水率計表示値で確実に全乾法含水率の目標値以下に管理する。含水率の確認は、全乾法による含水率の値と測定標示値とを比較対比し、含水率計の表示値で所定の含水率±2%に管理する。

#### エ 考察

(ア) 図 3-1-1 で、国産材製材業における造作材の生産割合（35%）が製材業全体の生産割合よりも増加した理由は、国産スギ・ヒノキ材が内装用壁・床板製品の素材として使用されているためと考えられる。また、流通業では構造材の比率が 77%と高くなるが、これは住宅用構造材にベイマツ等に代表される外国産材の使用比率が高いことが起因していると思われる。

木材乾燥技術の重要なファクターの一つに材厚がある。人工乾燥スケジュールを作成するためには材厚から乾燥時間が推定される。したがって、最終的な目標である人工乾燥スケジュールの作成には今回調査した材厚を公約数とみなし、これを参考に乾燥工程を開発することとした。

#### (イ)

木材の含水率は、ある温度と相対湿度の関係から得られる平衡含水率に限りなく近づく。今回測定対象となった住宅の近傍における「浦和観測点」のアメダス気象情報（標準年 1985

年～1991年)によると平均温度は14.4℃、平均相対湿度は67.9%、これらの値から読みとった平衡含水率は13.3%であった。この値は図3-1-6における1階の含水率に相当した。このことは、長年に渡って同一の気候にさらされた木材は、その気候の平衡含水率に近くなることを示唆した。

(ウ) 含水率12%に調整した木材では最大で1.2mmの寸法変化であった。これは収縮膨張の異方性を持つ木材の中でも変化量が大きい接線方向においてであった。ただし、関係湿度90%の恒温恒湿室内で1.2mmの膨張に要する時間は30日である。換気性が高い住宅の場合では考えにくい状態である。実際の住環境で板材の寸法変化を通年測定した例では幅方向で0.5mm、厚さ方向で0.2mmが膨潤収縮の幅であった<sup>9)</sup>。また、膨潤収縮の温湿度環境による変化は処理温度等の乾燥条件によっても変わる<sup>10)</sup>と考えられるので、一般的な使用状況では問題のない変化幅であるが、今後の課題と考えられる。平衡含水率15%の相対湿度75%を基準に考えれば、乾燥材の温湿度による寸法変化は最大±1.0mm程度と考えられる。このことは、この木材の利用方法が無垢材としても集成材としても、住宅施工上は問題ない寸法変化と考えられる。また、今回得られた吸放湿量を利用して、8畳の部屋(天井高さ2.2m)の4面にスギ壁で施工した場合には吸湿量は約3000g、放湿量は約1500gに換算された。

(エ) 乾燥工程を提案する場合に現在の実態と大きく離れた内容では実用的ではないので、現状の生産状況を調査した。壁板や床板のような内装材の場合には、製品が人間の手足に触れられることから一般家具並みの含水率調整が必要である。この水分調整は集成材等の複合部材の接着工程にも応用可能である。大断面の集成材は直接人間の目で見られるようなところに使われることが少なくないので、強度的には問題が少なくても、割れや剥離等の欠点が生じては問題がある。したがって、含水率が高く、バラツキの大きいスギ材は屋外で水分を十分整えてから人工乾燥工程に移る方法が確実に含水率を調整できる方法であると認識した。

また、乾燥前の製材段階における歩増しについても木材製品の生産工程では重要な要素である。今回調査したA社は内装材工場ということで、乾燥原板から面取り加工を行った後で100%削り残しがないように加工することが前提にあったため、一般よりも歩増しが大きかったと思われた。

(オ) スギの板材の場合、最終用途は壁板や床板等の内装材および集成材ラミナが考えられる。このときの管理含水率はいずれも8～12%が一般的である。含水率計の表示値が8～12%の時に全乾法含水率8～12%の確率は95%であった。ただし、過乾燥状態でも7～8%の値が表示されたことは今後の改良を必要とする点と思われた。この解決方法は、検量線に指数曲線の回帰線をあてはめることで改善が見込まれた。

(カ)

調査および追加試験の結果を基に針葉樹材の乾燥スケジュールを作成した。これらは樹種特性や最終用途を考慮して作製した。すなわち、含水率が他の樹種よりも高く、バラツキがみられるスギに対しては天然乾燥を積極的に取り入れた。マツ属、カラマツ属(*Pinus, Larix*)

は狂い、青変菌や樹脂成分の除去を注意点として取り入れた。また、ヒノキに関しては、最終用途によっては材色変化の少ない温度域を取り入れた。このような材質的な観点から乾燥スケジュールをスギとヒノキ、マツ等に区別した。これらのスケジュールは、現場で扱いやすいように昼夜連続運転を想定したタイムスケジュールとした。ただし、ステップ時間は現場導入への目安であり、実際の乾燥工場では乾燥装置に実状や乾燥の仕上がり状態に合わせて、持続時間を増減させる必要がある。

表 3-1-6～11 にスギ材の材厚、用途別のタイムスケジュールを示した。スギ材の初期含水率は比較的高く、バラツキがおおきいので、板材の場合は天然乾燥との併用は有効な手段と考えて併記した。天然乾燥期間は初期含水率を 120%以下とした場合、材厚 20～40mm で約 45 日、材厚 40～60mm で約 60 日と考えられる。人工乾燥前の天然乾燥目標含水率は 25%とした。集成材等の複合部材では、軽微な材色の変化は最終的な品質の評価には加えられないと考えられる。したがって、集成・複合部材用のラミナ材の乾燥スケジュールは、材厚を照らし合わせて、表 3-1-6、または 3-1-11 が適当と考えられる。

表 3-1-12～21 にヒノキやアカマツ等マツ類の人工乾燥スケジュールを示した。通常の生産工程ではヒノキやアカマツ等はカビや青変菌の問題が生じるために天然乾燥を省略することが多い。ヒノキ科やマツ科の初期含水率は比較的低くかつ範囲も小さいので、積極的な天然乾燥は行わなくても含水率管理が行いやすい。集成・複合部材用のラミナ材の乾燥スケジュールは、材厚を照らし合わせて、表 3-1-15 または 3-1-20 が適当と考えられる。

#### オ. 今後の問題点

複合部材および製材品の原板を乾燥する工程を樹種、材種に則って作成した。乾燥スケジュールは温度と湿度を乾燥時間で変化させるタイムスケジュールとして、直ちに一般工場で使用できるようにした。ただし、各樹種、材種の材質的な面で乾燥後の含水率に問題が生じた場合には採用した乾燥スケジュールの各温湿度ステップの時間を変更する必要がある。

国内の平均平衡含水率は現在 15%とされているが、人口が密集している首都圏、大阪圏等の住宅地域の値を建築用の平衡含水率値として検討する必要があると思われる。これは品質を重視した木造住宅が普及するために、建設後でもほとんど狂わない木材の信用を得るために必要と考えられる。このことに関連して、人工乾燥の方法によって寸法変化の少ない木材が開発できる可能性があるため、これは今後の研究課題のひとつとして考えられる。

#### カ. 要約

- (ア) 乾燥スケジュールの作成には材厚が主要なパラメータである。材種の調査によって実際に生産されている板物および割物の材厚は 9～60mm であった。その中でも 15mm、27mm、30mm、45mm が比較的多く出現した材厚であった。したがって、乾燥スケジュールはこれらの材厚を中心に作成すれば多くの材種に対応できると考えられた。

- (イ) 解体直前の木造住宅の部材含水率は、今回調査した結果、地域により若干の差があったが、床下土台材は 15～20%、居住部分は 12～14%、屋根裏の小屋組部分は 11～12%であった。したがって、乾燥スケジュール作成においては最終段階で木材を含水率 12%前後に調湿することが必要と考えられた。
- (ウ) 恒温恒湿室 (ECM12%) に長期間放置したスギ柱角材を、異なる平衡含水率 (9%、22%) に放置して寸法変化をみたところ、±0.5mm 程度の動きであった。含水率 12%に調整された木材は湿度変化があったとしても最大 1mm 程度の収縮膨潤であった。  
今回得られた吸放湿量を利用して、8 畳の部屋 (天井高さ 2.2m) の 4 面にスギ壁で施工した場合には吸湿量は約 3000 g、放湿量は約 1500 g に換算された。
- (エ) 内装材および集成材を製造している工場において実際の製造工程について調査した結果、スギ内装用乾燥原板 (材厚 13mm) は天然乾燥を 2～3 ヶ月行い、その後人工乾燥を養生期間含めて 5 日行っていた。乾燥終了時の含水率は 15%以下で管理され、製品の含水率は 12%以下で管理されていた。また、製材時の歩増しについても調査を行い、製品加工時の削り残しなしという条件で安全率を考慮すると、製品寸法に対して厚みで 30%、幅で 10%、長さで 5%の歩増しが必要であると考えられた。  
また、集成材工場では大断面集成材用のスギのラミナ (材厚 30mm) の乾燥工程は天然乾燥を 3～4 週間行い、含水率を 30～50%に揃えた後、乾燥温度 80℃で 5～6 日人工乾燥を行っていた。乾燥終了時の含水率は 8～11%で管理されていた。その後、ラミナ加工前の養生は棧積み状態で 1～2 週間屋根付きの場所で行っていた。
- (オ) 人工乾燥スケジュールにより乾燥された素材の含水率を管理するための含水率の精度を試験した。30mm 厚のスギ板目板材を用いて高周波式と抵抗式の表示値と実際の含水率を比較した。この結果、含水率 12%で含水率管理を行う場合には、含水率の表示値を 8～10%で管理することで十分可能であった。ただし、あて材のような高密度材が含まれることで高周波含水率では誤差が大きくなる。したがって、ラミナ等の材厚では、少々の測定痕が許されるのであれば抵抗式の方が信頼性は高かった。
- (カ) 調査および追加試験の結果を基に針葉樹材の乾燥スケジュールを作成した。これらは樹種特性を考慮して作製した。すなわち、含水率が他の樹種よりも高く、バラツキがみられるスギに対しては天然乾燥を積極的に取り入れた。マツ属、カラマツ属 (*Pinus, Larix*) は狂い、青変菌や樹脂成分の除去を注意点として取り入れた。また、ヒノキに関しては、最終用途によっては材色変化の少ない温度域を取り入れた。さらに、これらのスケジュールは現場で扱いやすいようにタイムスケジュールとした。

キ. 引用文献

- 1) 平野二三男 (1981) 天竜材 (スギ) の木取り, 木材工業, **36**, 32-36
- 2) 田中俊成 (1980) 在来工法木造住宅の床板と柱の含水率調査, 木材工業 **35**, 31-35
- 3) 田中俊成 (1982) 林業試験場場報, **219**, 1-4
- 4) 寺沢真, 筒本卓造 (1986) “改訂版 木材の人工乾燥” 26-28
- 5) 三村典彦ら (1986) 長野県林業指導書研究報告 **1**, 19-43
- 6) 祖父江信夫 (1990) 木材用水分グレーダーの開発研究会報告書, 58-67
- 7) 信田聡 (1990) 建築用製材の水分管理システム, 木材工業, **43**, 353-358
- 8) 森山正幸他 (1986) 新型高周波容量式木材水分計, 木材工業, **41**, 37-39
- 9) 信田聡 (2001) 木材の使用環境と部材含水率測定, 品質・性能向上技術調査・開発事業報告書, (財) 日本住宅木材技術センター, 87-119
- 10) 齋藤周逸 (1998) 蒸煮処理がスギ柱材の乾燥速度と寸法変化におよぼす効果, 木材工業, **53**, 601-606

(齋藤周逸)

表3-1-1 回答業種内訳

業種	回答数
製材業	27/36
プレカット	3/36
卸売り流通	4/36
加工流通	1/36
その他	1/36

表3-1-2 各社取扱い対象樹種

対象樹種	取扱い件数
スギ	24
ヒノキ	22
国産マツ	2
ベイマツ	10
ベイツガ	6
ホホワイトウッド	5
外国産アカマツ	4
国産広葉樹	1
外国産広葉樹	0

表3-1-3 各社取り扱い主要製品

用途	取扱い件数
構造用製材 (梁材、柱材、土台角、間柱、母屋角等)	25
造作用製材 (敷居、鴨居、外壁)	15
下地用製材 (屋根、床、壁等の下地)	23
内装用壁板材 (天井、内壁、床板)	17
内装建具材	4
家具用材	2
楽器用材	0
その他	1

表3-1-4 材種別月間生産量

材種	材種	生産量	流通量
		(m <sup>3</sup> /月間)	(m <sup>3</sup> /月間)
角材	梁材	890	473
	柱材	368	299
	土台角	340	174
割材	間柱	84	65
	母屋角等	223	20
	敷居、鴨居	212	5
板材	屋根、床、壁板等の下地材	1674	10
	外壁	279	170
	内装用天井	134	5
	内装用壁板	161	15
	内装用床板	133	20

表3-1-5 天竜地域で扱われる製材、製品寸法の出現数

		木口の長辺(mm)																										
		15	18	20	24	27	30	33	36	40	45	50	55	60	70	75	85	90	100	105	120	150	180	210	240	270	300	
木口の短辺(mm)	7																											
	9								1						1			6	1	6	6	5	4					
	11																	6				1	1	1				
	13										1							4		3	3	7	6	1				
	15	4					1				4							15		13	12	6	5	2	1	1	1	
	18		6																5	4	4	2	1	1	1	1	1	1
	20						4					2							1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	24				2								3								2	1	4	4	4	4	1	1
	27					4								2	1				1		12	8	3	3	3	3	2	2
	30							5			14	2	1	1					3		14	9	2	1	3	4	1	1
	33										1	12																
	36									2	1	3							1		7							
	40										1	12		6	1				2		1	1	1					
	45											1		9	1				5		19	15						
	50												3															
	55													4							1	1						
	60															3			1		3	3						
	70																											
	75																											
	85																											
90																		21										
100																			1									
105																					35	1	9	8	8	8		9
120																						35	10	9	9	9	2	9

		材長(m)							
		1.8	1.9	2	3	3.7	3.8	4	6
木口の短辺(mm)	7								
	9	7	3	4			1		
	11	4		1	2			6	
	13	1	1	1		2	5	8	
	15	3	2	6	8	2	7	20	
	18	1	1	1	3	1	5	6	
	20		1		2	1	1	6	
	24			2	2	3	5	9	
	27				8	2	5	9	
	30			2	12	2	8	18	
	33						1	3	
	36				3	3	5	10	
	40			2	4	1	1	6	
	45	6	6	7	11	6	11	22	
	50	1	1	1	1	1	1	1	
	55	1	1	1	1	1	1	1	2
	60	1	1	2	2	1	2	8	
	70	1	1	1	2	1	2	2	
	75	1	1	1	1	1	1	1	2
	85	1	1	1	1	1	1	1	1
90	4	4	4	11	5	6	20		
100	1	1	1	2	1	1	2		
105	5	6	7	26	6	7	26	15	
120	5	6	7	25	6	7	27	19	

字体の凡例：太字・・・製材、プレカット、卸売りで共通  
 太字斜め・・・製材、卸売りで共通  
 細字斜め・・・製材、プレカットで共通  
 細字・・・製材のみ

表3-1-6 材厚10~20mmの人工乾燥スケジュール (材色変化を小さく仕上げる)

ステップ	天然乾燥材		生材			備考
	処理時間 (時間)	処理時間 (時間)	乾球温度 (℃)	湿球温度 (℃)	関係湿度 (%)	
1	6	6	70	70	100	蒸煮処理 (乾湿同温度)
2	8	8	50	46	80	
3	10	12	51	47	76	
4	10	16	53	47	69	
5	10	16	55	47	63	
6	10	16	57	47	57	
7	12	28	59	47	52	
8	12	24	60	48	50	
9	6	6	60	44	40	イコーライジング
10	6	6	60	52	66	コンディショニング
90		138				

表3-1-9 材厚20~60mmの人工乾燥スケジュール (材色変化を小さく仕上げる)

ステップ	天然乾燥材		生材			備考
	処理時間 (時間)	処理時間 (時間)	乾球温度 (℃)	湿球温度 (℃)	関係湿度 (%)	
1	8	8	70	70	100	蒸煮処理 (乾湿同温度)
2	8	8	50	46	80	
3	12	16	51	47	76	
4	16	16	53	47	69	
5	16	16	55	47	63	
6	16	24	57	47	57	
7	24	36	59	47	52	
8	24	24	60	48	50	
9	6	6	60	44	40	イコーライジング
10	6	6	60	52	66	コンディショニング
136		160				

表3-1-7 材厚10~20mmの人工乾燥スケジュール (一般材)

ステップ	天然乾燥材		生材			備考
	処理時間 (時間)	処理時間 (時間)	乾球温度 (℃)	湿球温度 (℃)	関係湿度 (%)	
1	6	6	70	70	100	蒸煮処理 (乾湿同温度)
2	8	8	60	57	86	
3	8	8	61	57	82	
4	8	12	63	58	75	
5	8	16	65	57	68	
6	8	16	67	58	63	
7	10	24	69	58	57	
8	10	24	70	58	55	
9	6	6	70	54	45	イコーライジング
10	6	6	70	63	75	コンディショニング
78		126				

表3-1-10 材厚20~60mmの人工乾燥スケジュール (一般材)

ステップ	天然乾燥材		生材			備考
	処理時間 (時間)	処理時間 (時間)	乾球温度 (℃)	湿球温度 (℃)	関係湿度 (%)	
1	8	8	70	70	100	蒸煮処理 (乾湿同温度)
2	8	8	60	57	86	
3	12	16	61	57	82	
4	16	16	63	58	75	
5	16	16	65	57	68	
6	16	16	67	58	63	
7	16	32	69	58	57	
8	20	24	70	58	55	
9	6	6	70	54	45	イコーライジング
10	6	6	70	63	75	コンディショニング
124		148				

表3-1-8 材厚10~20mmの人工乾燥スケジュール (材色変化を容認する一般材)

ステップ	天然乾燥材		生材			備考
	処理時間 (時間)	処理時間 (時間)	乾球温度 (℃)	湿球温度 (℃)	関係湿度 (%)	
1	6	6	85	85	100	蒸煮処理 (乾湿同温度)
2	5	8	70	67	87	
3	5	8	71	67	83	
4	6	12	73	67	76	
5	6	12	75	67	70	
6	6	16	77	68	65	
7	10	24	79	68	60	
8	10	16	80	68	57	
9	6	6	80	64	48	イコーライジング
10	6	6	80	73	77	コンディショニング
66		114				

表3-1-11 材厚20~60mmの人工乾燥スケジュール (材色変化を容認する一般材)

ステップ	天然乾燥材		生材			備考
	処理時間 (時間)	処理時間 (時間)	乾球温度 (℃)	湿球温度 (℃)	関係湿度 (%)	
1	8	8	85	85	100	蒸煮処理 (乾湿同温度)
2	8	8	70	67	87	
3	8	16	71	67	83	
4	12	16	73	67	76	
5	12	16	75	67	70	
6	16	16	77	68	65	
7	20	24	79	68	60	
8	16	20	80	68	57	
9	6	6	80	64	48	イコーライジング
10	6	6	80	73	77	コンディショニング
112		136				

表3-1-12 材厚10~20mmの人工乾燥スケジュール (ヒノキ等の化粧材)

ステップ	処理時間 (時間)	乾球温度 (℃)	湿球温度 (℃)	関係湿度 (%)	備考
1	6	45~50	45~50	100	蒸煮処理 (乾湿同温度)
2	24	45	41	79	
3	24	46	41	75	
4	36	47	41	71	
5	36	48	42	68	
6	36	50	42	62	
7	6	50	34	34	イコーライジング
8	6	50	42	62	コンディショニング

174

表3-1-13 材厚10~20mmの人工乾燥スケジュール (材色変化を小さく仕上げる)

ステップ	処理時間 (時間)	乾球温度 (℃)	湿球温度 (℃)	関係湿度 (%)	備考
1	6	70~85	70~85	100	蒸煮処理 (乾湿同温度)
2	12	50	46	80	
3	12	51	47	76	
4	12	53	47	69	
5	12	55	47	63	
6	12	57	47	57	
7	24	59	47	52	
8	24	60	48	50	
9	6	60	44	40	イコーライジング
10	6	60	52	66	コンディショニング

126

表3-1-14 材厚10~20mmの人工乾燥スケジュール (一般材用)

ステップ	処理時間 (時間)	乾球温度 (℃)	湿球温度 (℃)	関係湿度 (%)	備考
1	6	70~85	70~85	100	蒸煮処理 (乾湿同温度)
2	12	60	57	86	
3	12	61	57	82	
4	12	63	58	75	
5	12	65	57	68	
6	12	67	58	63	
7	12	69	58	57	
8	20	70	58	55	
9	6	70	54	45	イコーライジング
10	6	70	63	75	コンディショニング

110

表3-1-15 材厚10~20mmの人工乾燥スケジュール (材色変化を容認する一般材)

ステップ	処理時間 (時間)	乾球温度 (℃)	湿球温度 (℃)	関係湿度 (%)	備考
1	6	85	85	100	蒸煮処理 (乾湿同温度)
2	6	70	67	87	
3	6	71	67	83	
4	12	73	67	76	
5	12	75	67	70	
6	12	77	68	65	
7	12	79	68	60	
8	12	80	68	57	
9	6	80	64	48	イコーライジング
10	6	80	73	77	コンディショニング

90

表3-1-16 材厚10~20mmの人工乾燥スケジュール (マツ類等一般材の乾燥)

ステップ	処理時間 (時間)	乾球温度 (℃)	湿球温度 (℃)	関係湿度 (%)	備考
1	6	85	85	100	蒸煮処理 (乾湿同温度)
2	6	85	80	81	
3	6	86	80	78	
4	12	87	81	75	
5	24	88	80	72	
6	12	90	80	67	
9	6	90	75	54	イコーライジング
10	6	90	84	82	コンディショニング

78

表3-1-17 材厚20~60mmの人工乾燥スケジュール (ヒノキ等の化粧材)

ステップ	処理時間 (時間)	乾球温度 (℃)	湿球温度 (℃)	関係湿度 (%)	備考
1	6	45~50	45~50	100	蒸煮処理 (乾湿同温度)
2	36	45	41	79	
3	48	46	41	75	
4	48	47	41	71	
5	48	48	42	68	
6	48	50	42	62	
7	6	50	34	34	イコーライジング
8	6	50	42	62	コンディショニング

246

表3-1-18 材厚20~60mmの人工乾燥スケジュール (材色変化を小さく仕上げる)

ステップ	処理時間 (時間)	乾球温度 (℃)	湿球温度 (℃)	関係湿度 (%)	備考
1	8	70~85	70~85	100	蒸煮処理 (乾湿同温度)
2	12	50	46	80	
3	12	51	47	76	
4	24	53	47	69	
5	12	55	47	63	
6	24	57	47	57	
7	24	59	47	52	
8	36	60	48	50	
9	6	60	44	40	イコーライジング
10	6	60	52	66	コンディショニング

164

表3-1-19 材厚20~60mmの人工乾燥スケジュール (一般材用)

ステップ	処理時間 (時間)	乾球温度 (℃)	湿球温度 (℃)	関係湿度 (%)	備考
1	8	70~85	70~85	100	蒸煮処理 (乾湿同温度)
2	12	60	57	86	
3	12	61	57	82	
4	24	63	58	75	
5	12	65	57	68	
6	12	67	58	63	
7	24	69	58	57	
8	36	70	58	55	
9	6	70	54	45	イコーライジング
10	6	70	63	75	コンディショニング

152

表3-1-20 材厚20~60mmの人工乾燥スケジュール (材色変化を容認する一般材)

ステップ	処理時間 (時間)	乾球温度 (℃)	湿球温度 (℃)	関係湿度 (%)	備考
1	8	85	85	100	蒸煮処理 (乾湿同温度)
2	12	70	67	87	
3	12	71	67	83	
4	12	73	67	76	
5	12	75	67	70	
6	12	77	68	65	
7	24	79	68	60	
8	24	80	68	57	
9	6	80	64	48	イコーライジング
10	6	80	73	77	コンディショニング

128

表3-1-21 材厚20~60mmの人工乾燥スケジュール (マツ類等一般材の乾燥)

ステップ	処理時間 (時間)	乾球温度 (℃)	湿球温度 (℃)	関係湿度 (%)	備考
1	6	85	85	100	蒸煮処理 (乾湿同温度)
2	12	85	80	81	
3	24	86	80	78	
4	24	87	81	75	
5	24	88	80	72	
6	24	90	80	67	
9	6	90	75	54	イコーライジング
10	6	90	84	82	コンディショニング

126

表3-1-22 製材寸法（厚さ）の例

製品厚さ(mm)	製材厚さ(mm)
10	13~14
12	16~17
15	20~21
18	24~26
20	26~28
25	33~35
30	39~42
40	52~56

表3-1-23 製材寸法（幅）の例

製品幅(mm)	製材幅(mm)
60	66~69
75	83~87
90	99~104
95	105~110
100	110~115
105	116~121
110	121~127
120	132~138
135	149~156
150	165~173
165	182~190

表3-1-24 製材寸法（長さ）の例

製品長さ(mm)	製材長さ(mm)
910	960
1820	1920
3640	3830
4000	4200

表3-1-25 製品寸法にするために収縮率分を想定した製材寸法の目安

製品寸法(mm)	歩増し率 (%)									
	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30
15	17	17	17	17	17	17	18	19	19	20
18	20	20	20	20	20	21	21	22	23	24
21	23	23	23	23	24	24	25	26	27	28
24	26	26	26	27	27	27	28	30	31	32
27	29	29	30	30	30	30	32	33	34	36
30	32	33	33	33	33	34	35	37	38	40
36	39	39	39	40	40	40	42	44	46	48
39	42	42	42	43	43	44	46	48	49	51
45	48	48	49	49	50	50	52	55	57	59
60	64	64	65	66	66	67	70	73	76	79
75	80	80	81	82	83	83	87	91	94	98
90	95	96	97	98	99	100	104	109	113	118
105	111	112	113	114	115	116	121	127	132	137
120	127	128	129	130	132	133	139	145	151	157
135	143	144	145	147	148	149	156	163	169	176
150	158	160	161	163	164	166	173	181	188	196
180	190	192	193	196	197	199	208	217	226	235
210	221	223	226	228	230	232	242	253	263	274
240	253	255	258	260	262	265	277	289	301	313
270	284	287	290	292	295	298	311	325	338	352
300	316	319	322	325	328	331	346	361	376	391
330	347	351	354	357	361	364	380	397	413	430
360	379	382	386	390	393	397	415	433	451	469

単位：mm

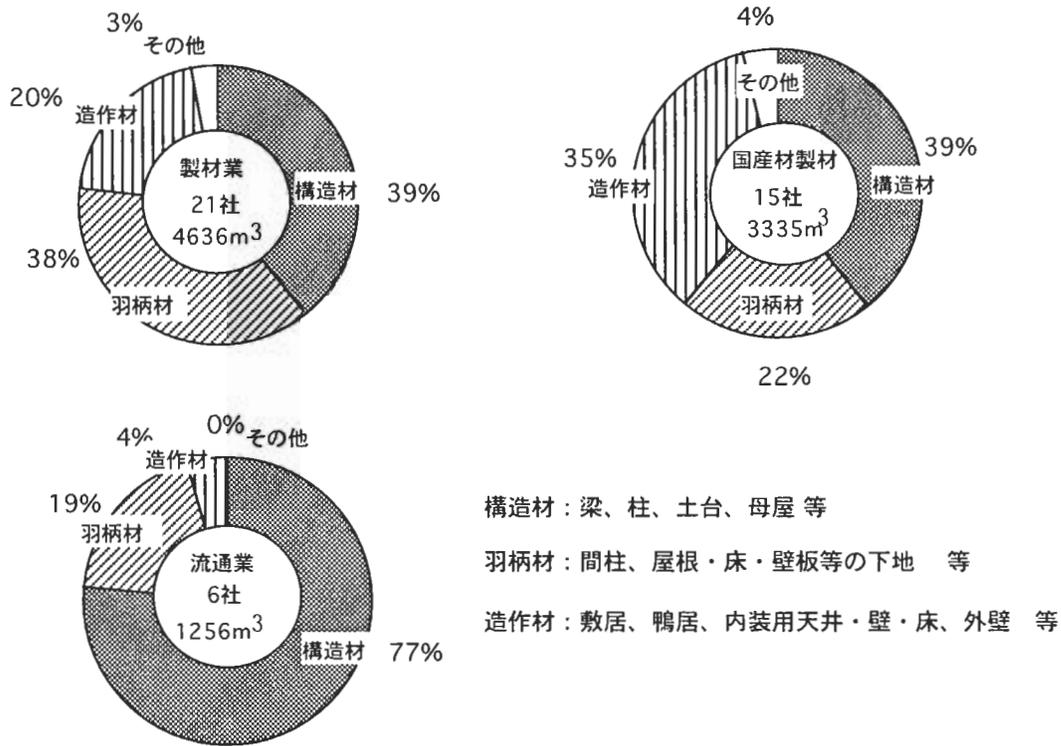


図3-1-1 生産量アンケートによる材種の出現割合

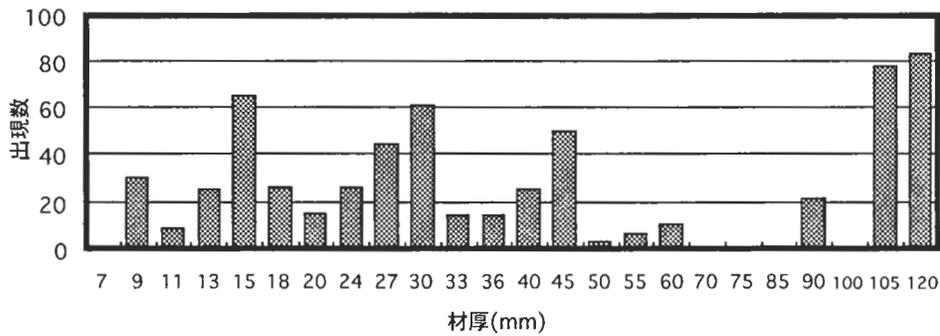


図3-1-2 材種アンケートによる材厚の出現割合

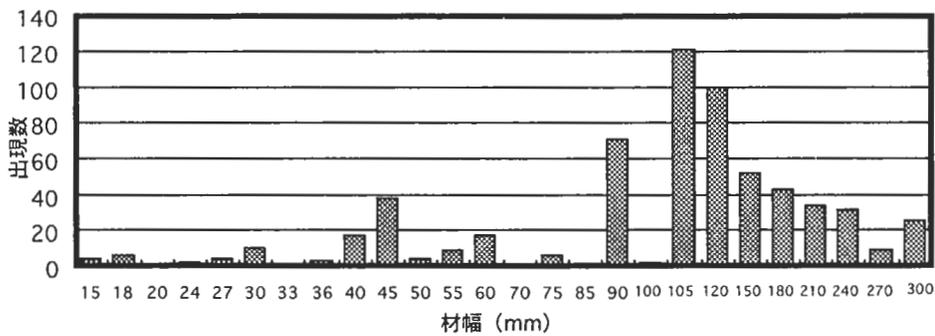


図3-1-3 材種アンケートによる材幅の出現割合

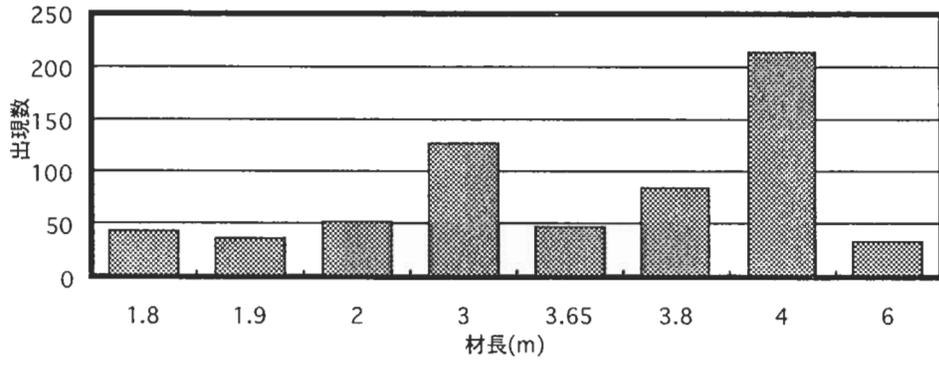


図3-1-4 材種アンケートによる材長の出現割合

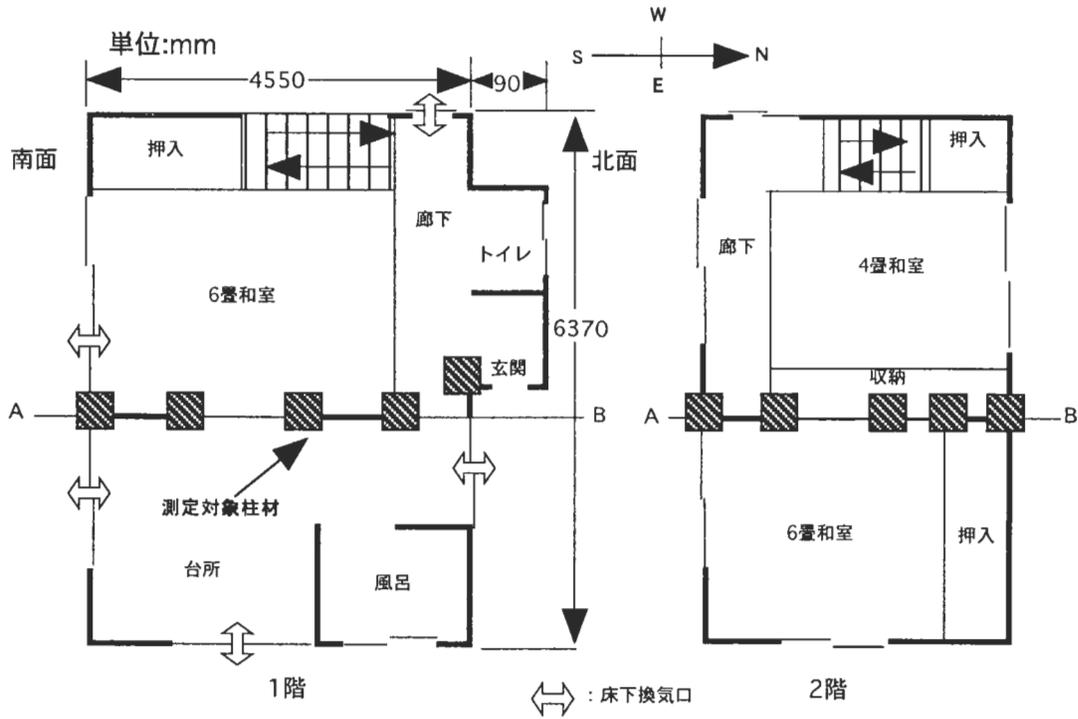


図3-1-5 対象住宅の平面図

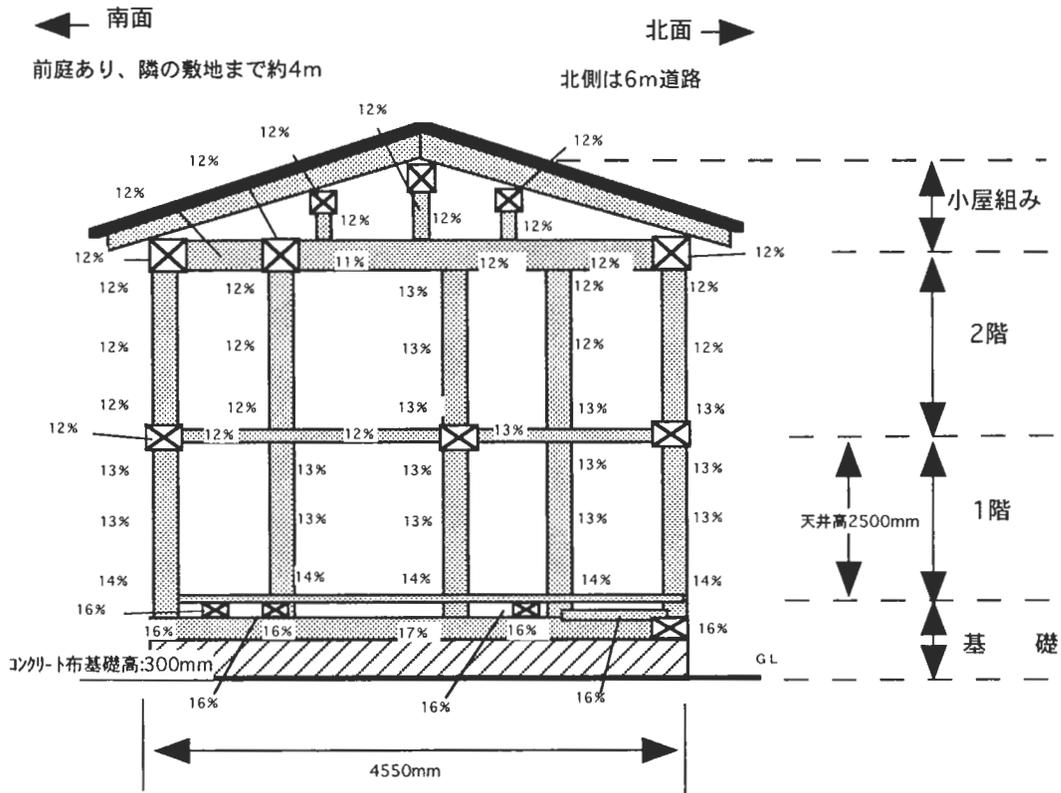


図3-1-6 住宅構造部材の含水率測定値

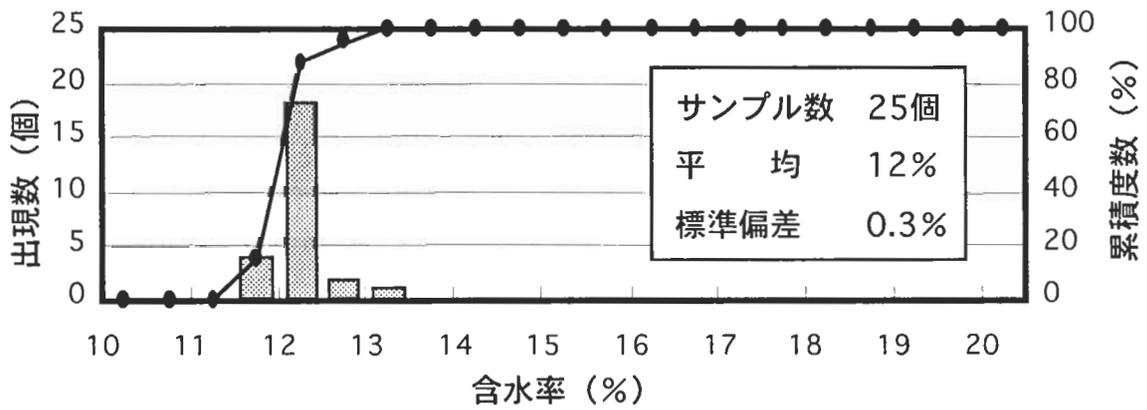


図3-1-7 小屋組の部材に現れた含水率分布

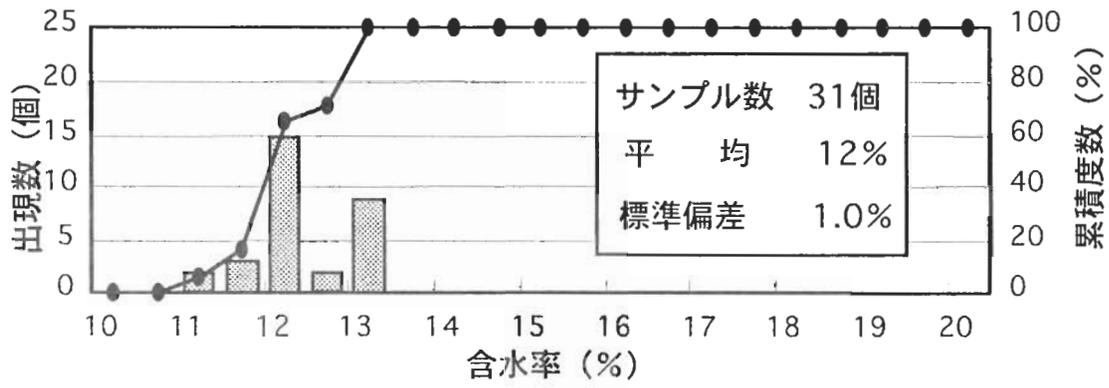


図3-1-8 二階の部材に現れた含水率分布

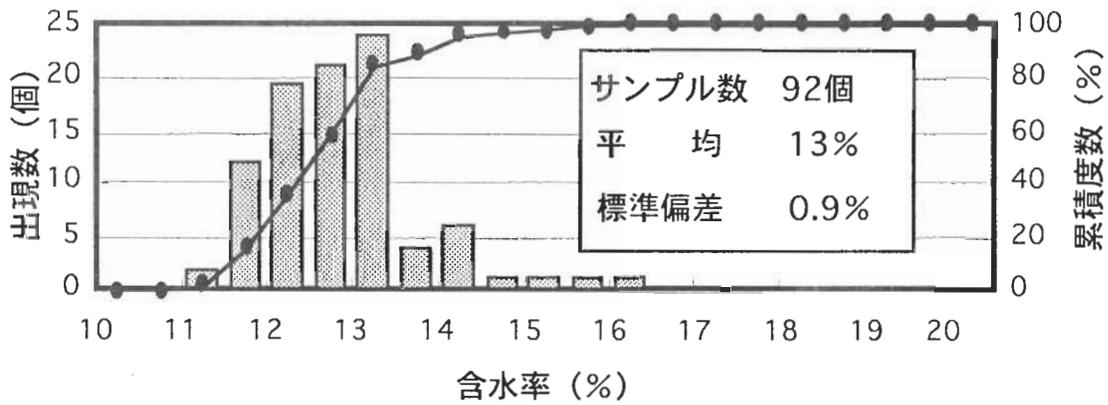


図3-1-9 一階の部材に現れた含水率分布

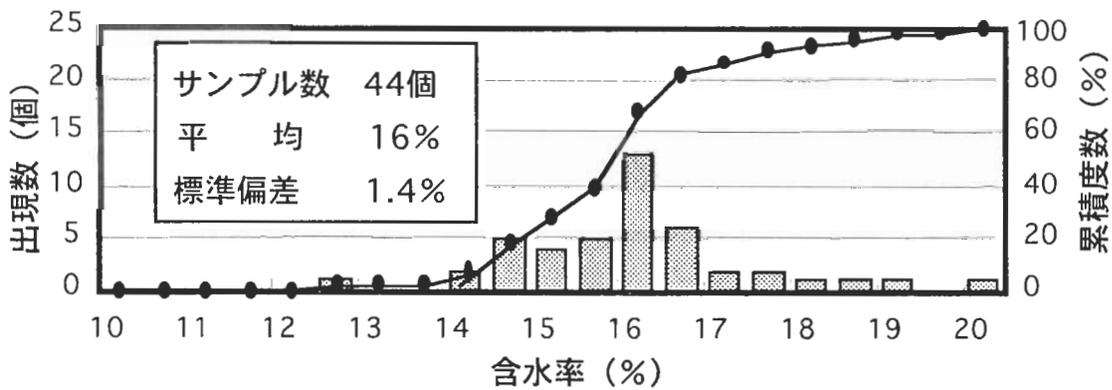


図3-1-10 土台の部材に現れた含水率分布

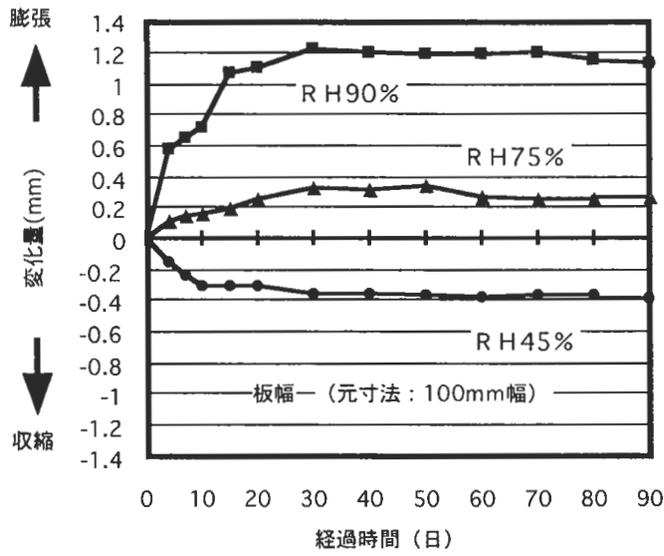


図3-1-11 幅方向の寸法変化  
(元寸法: 100mm幅)

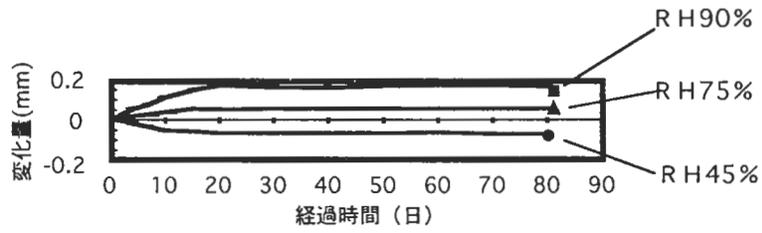


図3-1-12 厚さ方向の寸法変化  
(元寸法: 20mm厚)

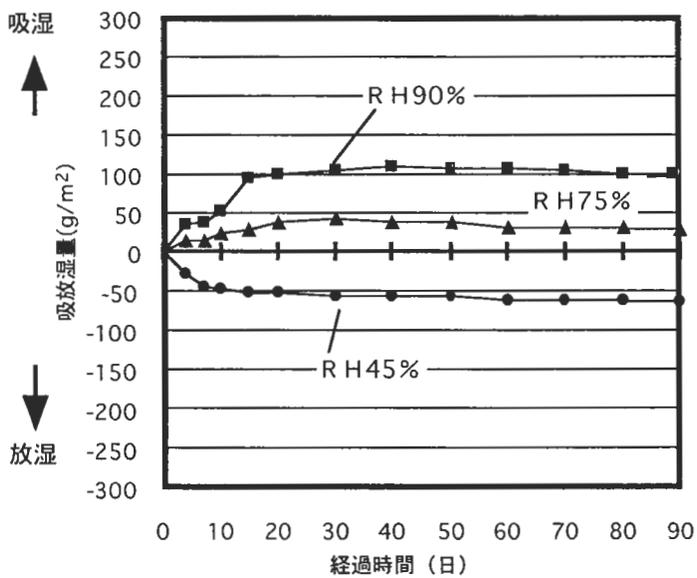


図3-1-13 板材の吸放湿量

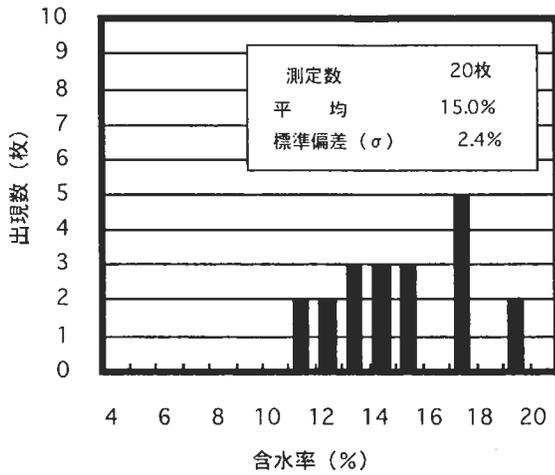


図3-1-14 人工乾燥直後の含水率分布

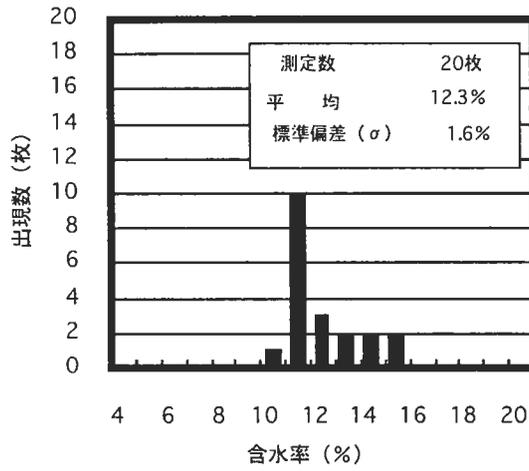


図3-1-15 製品加工直前の含水率分布

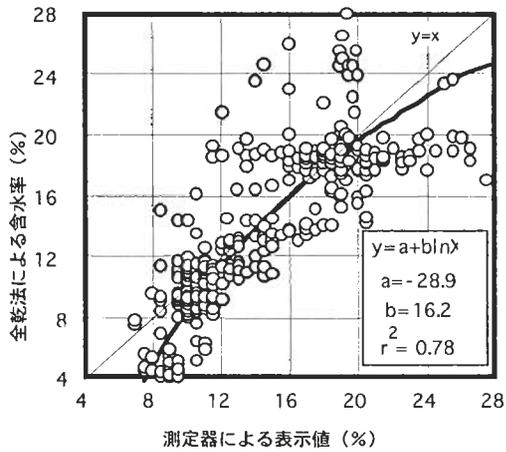


図3-1-16 板材に対する測定器表示と全乾法含水率の関係

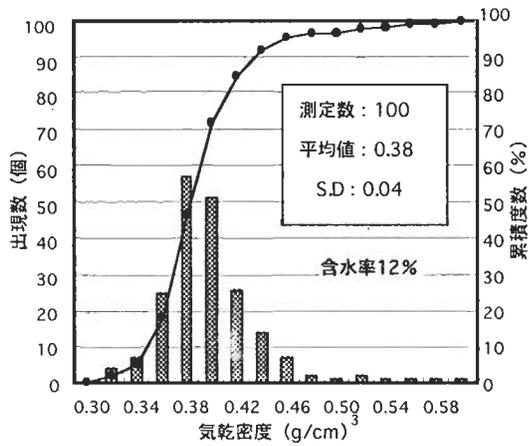


図3-1-17 試験材の気乾密度分布

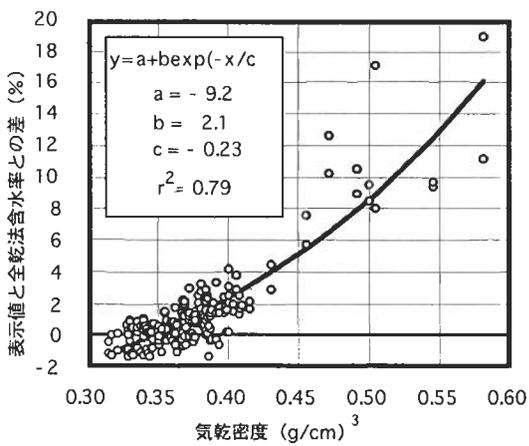


図3-1-18 気乾密度による含水率表示値の誤差

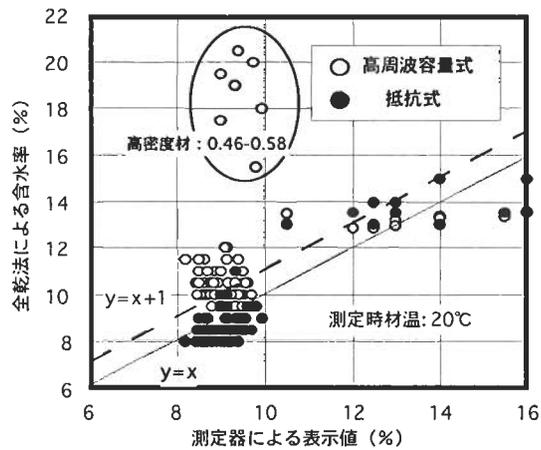


図3-1-19 高周波容量式と抵抗式の測定値の差

## 4. 構造用軸材料の強度性能評価技術の開発調査

### ア. 研究目的

わが国における建築基準が仕様規定から性能規定へ変更されるのに伴い、構造材料として使用される木材の強度性能を明確化することが一層必要になってくる。しかし、現状では、強度試験方法およびその評価方法が確立されているとは言い難い。そこで、わが国においても、現在、諸外国の規格や国際規格であるISOの試験方法を参考に、構造用木材の強度性能を把握するための統一的な試験方法および評価方法<sup>1)</sup>が作成されつつある。この際、異なる試験条件で得られた強度データを標準試験条件下でのデータへ調整する方法を明確にすることが重要である。

そこで、本課題では、製材品を対象に、曲げ強度に及ぼす材せいの影響および縦引張り強度に及ぼす含水率の影響を定量的に明らかにすることを目的とした。また、国際的にも確立していない構造用木材のめり込み試験方法についても検討した。

### イ. 研究方法

(1)「製材品の強度性能に関するデータベース」<sup>2)</sup>からスギ製材品5667体の曲げ強度データを使用し、寸法効果パラメータの算出を試みた。なお、材せいの範囲は30mm～250mmの範囲であった。

(2)長野県産カラマツ製材品（寸法：30mm×180mm×4000mm、生材状態）120本を用いて、縦引張り強度に及ぼす含水率の影響について検討した。まず、すべての試験体について縦振動法によるヤング係数（以下、ヤング係数）を測定し、その平均値と分散が等しくなるように、60本ずつの2つのグループに仕分けた。そのうち、1つのグループ（生材グループ）は生材状態のまま縦引張り試験を行い、もう1つのグループ（気乾材グループ）は人工乾燥によって気乾状態（含水率：約15%）に達した後、縦引張り試験を行った。

(3)ベイマツ製材品（心去り材）を用いて、めり込み試験方法について検討した。すべての供試材は気乾状態で、密度、縦振動法によるヤング係数、ピロディンによる打ち込み深さをあらかじめ測定した後、密度の平均値と分散が等しくなるように12グループに分け、めり込み強度性能に及ぼす試験体の寸法、および負荷条件（荷重点の位置や大きさ）の影響について検討した。

### ウ. 結果

#### エ. 考察

(1)スギの曲げ強度の実験値から試験体の材せい以外の条件を標準化するため、含水率はASTM D2915<sup>3)</sup>にしたがって15%に、荷重条件はEN384<sup>4)</sup>にしたがってスパンに対する材せいの比を18とした3等分点4点荷重方式に調整を行い、曲げ強度（B-STSm<sub>ax</sub>'）とした。試験体の材せい（h）とB-STSm<sub>ax</sub>'との関係を図1-4-1に示した。B-STSm<sub>ax</sub>'は、材せいが小さくなるのに伴って大きくなる傾向がみられ、その傾向は材せいの小さい範囲において顕著に認められる。そこで、寸法調整係数（k<sub>1</sub>）を「製材品の強度性能に関するデータベース」と同様に次式のように設定し、寸法効果パラメータ（g）の

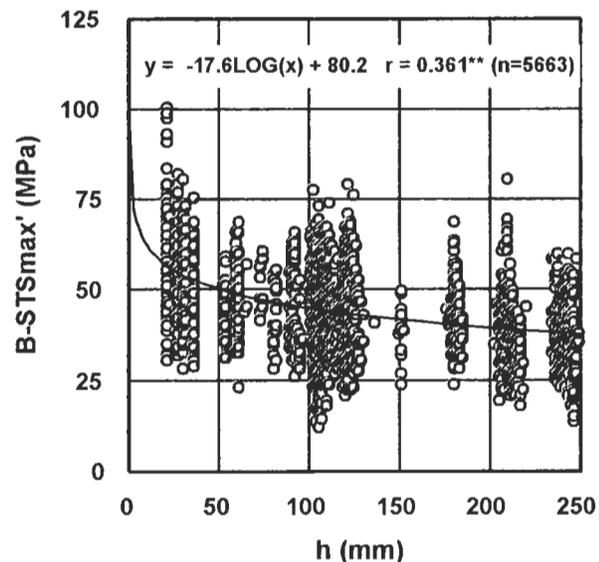


図1-4-1 hとB-STSm<sub>ax</sub>'との関係

算出を試みた。なお、「製材品の強度性能に関するデータベース」では $g$ を0.2、標準材せい ( $h_0$ ) を150mmとして調整を行っている。

$$k_1 = \left(\frac{h}{h_0}\right)^g$$

一般に、 $g$ は、まず試験体の幅、高さやスパンなどの対数をX軸、強度の対数をY軸として、各データをプロットし、その回帰式から得られる回帰係数とされる。材せいの対数とB-STSm $\alpha$ 'の対数との関係を図1-4-2に示した。この回帰式から、回帰係数、すなわち $g$ として0.167が得られた。

次に、製材品の品質、すなわち等級ごとの $g$ を求めた。等級を区分するパラメータとして、曲げヤング係数の実験値を材せいの18倍とした3等分点4点荷重条件に調整 (E/G=16と仮定) した値を用い、4GPa以上6GPa未滿をE5、6GPa以上8GPa未滿をE7、8GPa以上10GPa未滿をE9、10GPa以上12GPa未滿をE11と等級分けした。各機械等級ごとの材せいの対数とB-STSm $\alpha$ 'の対数との関係を図1-4-3に示した。回帰直線を各等級ごとにみると、当然ながら、等級が上がるとともB-STSm $\alpha$ 'の対数が大きく、ほぼ平行な関係がみられた。よって、回帰式の回帰係数もほぼ等しく、 $g$ は約0.2前後の値であった。

これらの結果から、「製材品の強度性能に関するデータベース」で用いている曲げ強度に対する寸法調整係数、すなわち材せいによる調整方法は、スギについてはほぼ妥当であることが検証された。

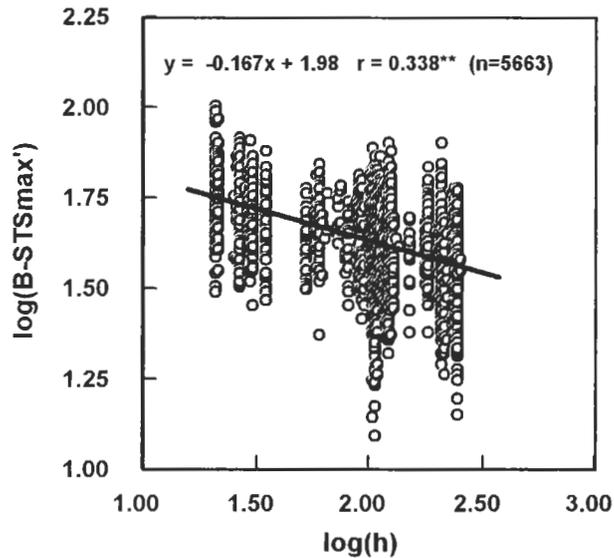


図1-4-2 log( h)とlog(B-STSm $\alpha$ ')との関係

○	E5	$y = -0.205x + 1.98 \quad r = 0.429^{**} \quad (n=1320)$
△	E7	$y = -0.190x + 2.02 \quad r = 0.454^{**} \quad (n=2467)$
□	E9	$y = -0.202x + 2.11 \quad r = 0.567^{**} \quad (n=1424)$
×	E11	$y = -0.191x + 2.14 \quad r = 0.624^{**} \quad (n=242)$

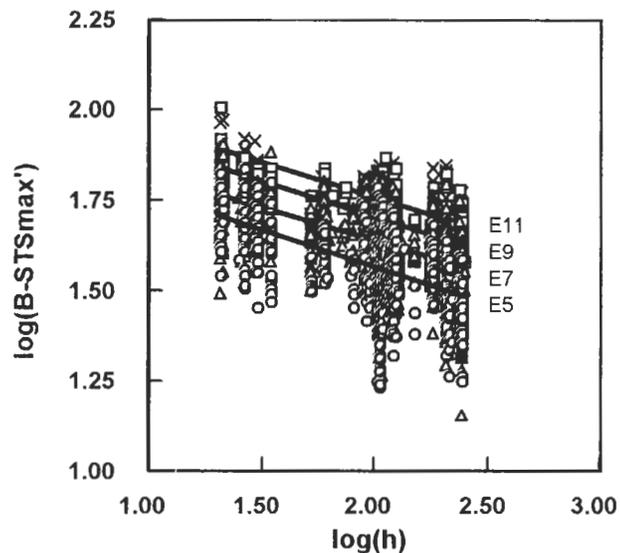


図1-4-3 log(h)とlog(B-STSm $\alpha$ ')との関係 (等級ごと)

(2)試験結果の概要を表1に示した。

生材グループと気乾材グループについて

て、生材状態でのヤング係 (Efr-green) の平均値と変動係数ともにほぼ等しいと言える。生材グループの含水率 (MC) の平均値は41.7%、最小値は27.0%であり、ほとんどの試験体が繊維飽和点を越えていたと判断される。また、気乾材グループの含水率の平均値は15.2%であり、設定した目標含水率にほぼ達していた。気乾材グループのヤング係数の平均値は生材状態から気乾

材状態 (Efr-dry) になるのに伴って約 11.7%増加していた。しかし、縦引張り強度 ( $\sigma_t$ ) については、両グループ間で、平均値、変動係数ともに違いはみられなかった。

生材および気乾材グループの縦引張り強度の正規化した分布を図1-4-4に示した。両グループの線はほぼ重複していると判断され、平均値と同様に、5パーセンタイル値についても違いは認められなかった。すなわち、スギ厚板を対象として実施した既往の試験結果と同様に、カラマツ製材品についても、生材から気乾材になるに伴って縦引張り強度は変化しないことが明らかになった。

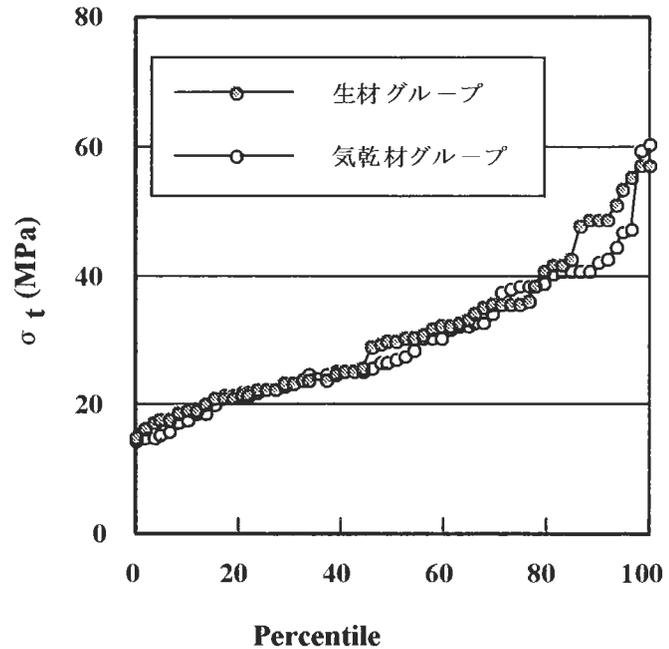


図1-4-4 縦引張り強度を正規化した分布 (含水率状態ごと)

表1-4-1 カラマツ製材品の縦引張り試験結果

	試験体数	Efr-green (GPa)	MC (%)	Efr-dry (GPa)	$\sigma_t$ (MPa)
生材グループ	60	10.31 6.27~14.25 (15.2)	41.7 27.0~61.7 (14.9)		31.1 14.9~57.2 (36.3)
気乾材グループ	60	10.28 6.28~14.04 (15.3)	15.2 14.4~18.2 (4.2)	11.48 7.27~15.49 (15.1)	29.8 14.5~60.6 (35.4)

※ 上段は平均値、中段は最小値~最大値、下段の ( ) 内は変動係数 (%) を示している。

(3) 結果の一例として、材長 (余長) の違いによるめり込みの影響について、応力—変形曲線を先年行ったスギ試験体 (心持ち材) での結果も併せて図5に示した。スギとベイマツを比較すると、ベイマツは同一変位

での応力が高いとともに、材長の違いによって曲線が異なることが認められる。すなわち、300mmと500mmの試験体は、材せいに対する変位の比が5%付近まではほぼ同じ推移を示し

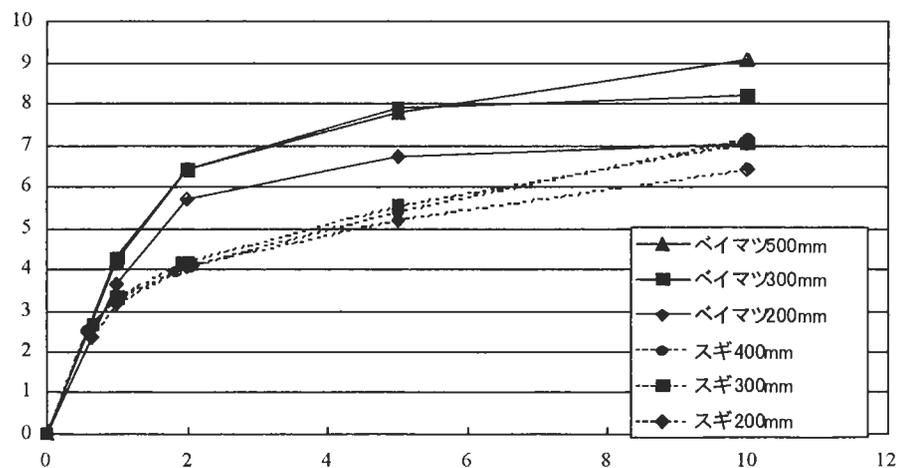


図1-4-5 めり込み応力に与える材長の影響

たが、変位の比が10%程度になると、300mmの試験体に比べて、500mmの試験体のほうが大きな応力を示した。これは、300mmの試験体では、材せいに対する変位の比が5-10%の区間において、木口が開く破壊が生じ、応力が解放されたためである。さらに、材長が200mmの試験体については、材せいに対する変位の比が5%以下の小さい範囲においても、300、500mmの試験体に比べて既にめり込み応力が小さい。したがって、標準試験方法を規定する際には、余長による影響を除外することを考慮して、試験体の長さを規定する必要性が示された。

各めり込み特性値とパラメータとの関係を図6～8に示した。めり込み強さ ( $f_{c,90}$ )、めり込み降伏強さ ( $f_{c,90,y}$ )、めり込み剛性 ( $K_{c,90}$ ) のすべての特性値について、縦振動法によるヤング係数 (Efr-I) よりも、密度、あるいはピロディン打ち込み深さとの相関係数が高いという結果となった。すなわち、めり込み性能を評価するパラメータとして、曲げ、縦圧縮、縦引張り強度において利用とされるヤング係数よりも、密度やピロディン打ち込み深さの方が有効であることが認められた。

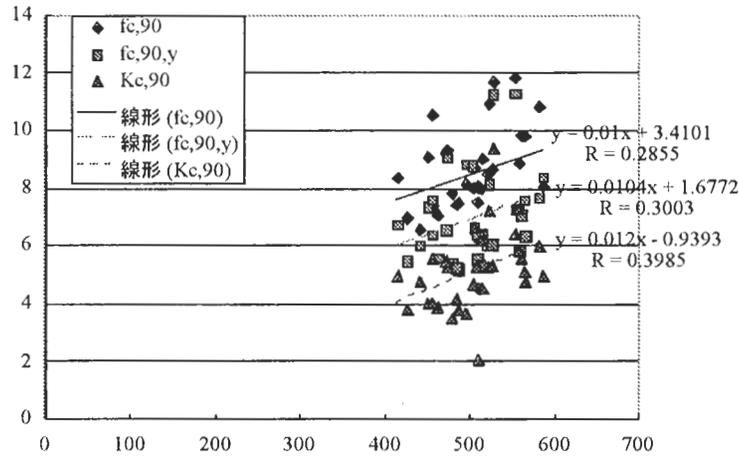


図1-4-6 各特性値と密度との関係

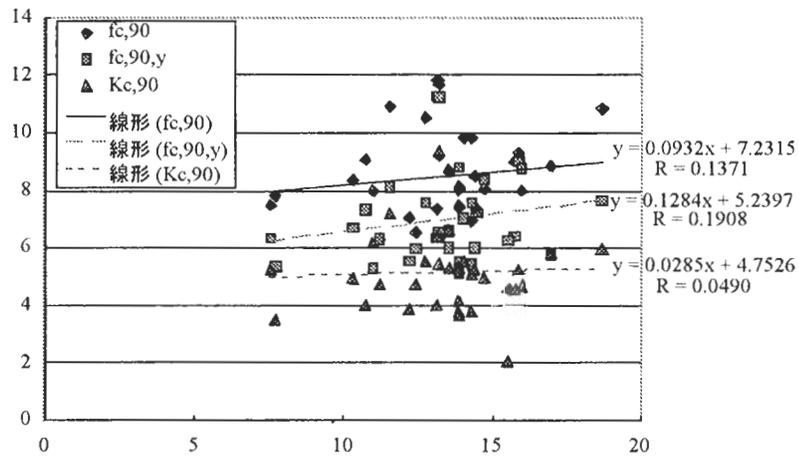


図1-4-7 各特性値とEfr-Iとの関係

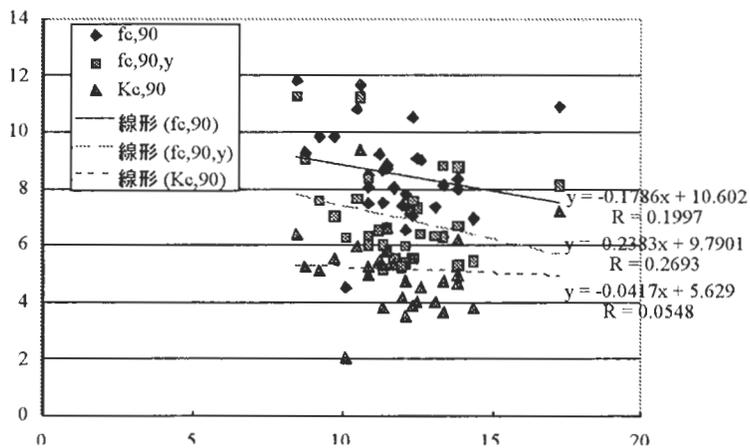


図1-4-8 各特性値とピロディン打ち込み深さとの関係

オ. 今後の問題点  
なし

カ. 要約

本課題では、異なる試験条件下で得られたスギ等針葉樹軸材料の強度データを標準化するための調整方法を開発することを目的とした。その結果、針葉樹製材を対象に、これまで明らかにされていなかった曲げ強度に及ぼす材せいの影響、縦引張り強度に及ぼす含水率の影響、めり込み強度に及ぼす試験条件の影響を定量的に明らかにした。

本課題で得られた結果は、異なる材せい・含水率条件で得られた曲げ・縦引張り強度データを調整する際に有効な知見として活用される。特に、当研究所が構築を推進している「製材品の強度性能に関するデータベース」の中で利用されている。また、国内および国際的な規格を決定する場において、めり込み試験方法を決定する際の貴重な知見となる。

キ. 引用文献

- 1) (1999) 「構造用木材の強度試験法」研修会テキスト、住宅資材性能規定化対策事業、地域材性能評価事業、(財)日本住宅・木材技術センター、1-84
- 2) (1999) 「製材品の強度性能に関するデータベース」データ集〈3〉、強度性能研究会、69-70
- 3) (2001) Standard practice for evaluation allowable properties for grades of structural lumber、ASTM D2915-98、410-421
- 4) (1994) Structural timber –Determination of Characteristic Values of Mechanical Properties and Density、EN384

(長尾博文、井道裕史、加藤英雄)

## 第2章 スギ等針葉樹材による高信頼性構造用面材料の製造及び性能評価技術の開発調査

### 1. 構造用面材料のせん断性能の評価法確立のための開発調査

#### ア 研究目的

建築基準法の性能規定化に伴い、構造用材料の強度性能を統計的に保証することが要求されるようになった。このことは、これまで日本工業規格(JIS規格)・日本農林規格(JAS規格)等による認証を受けていることで、仕様規定に従えば使用することが認められていた材料も、統計的な強度性能の保証を行えば、仕様規定によらない用途・部位に使用することが可能となったことを意味する。建築物の構造安全上、最も重要な性能は耐震性能に代表される水平力に対する耐力性能である。木質系建築物では、水平耐力性能は耐力壁のせん断性能に依存する。また、耐力壁間に均等に外力を伝達するためには、水平構面のせん断性能が重要である。近年、木質系構造用面材料の使用量は急激に増加しているが、そのせん断性能については研究蓄積が極めて乏しく、評価法も確立していないのが現状である。そこで、測定方法について検討を行い、統計的データの蓄積に適した試験方法を選定した。

せん断弾性係数(G)の算出のためには、ひずみ測定用のセンサを試験体に取り付ける必要がある。しかし、材料の種類により構成要素の大きさが異なることや、試験体内にせん断応力分布が存在することから、センサの種類や設置位置がGの値に影響を及ぼす可能性があると考えられる。そこで、測定因子としてひずみの測定法および測定位置を取り上げ、それらがGの実測値に与える影響について検討を行った。また材料によっては、異なる試験体寸法を用いた場合、測定される数値が異なることが懸念されることから、試験体の寸法効果についても検討した。

ASTM D 2719 Method Cに規定され、枠組壁工法建築物構造計算指針<sup>1)</sup>にも採り入れられているTwo-rail shear (TRS)法は、せん断強度( $\tau$ )、Gの両数値が測定可能である。また、大型試験体を用いるため実大性能に近い数値が得られることから、もっとも適用範囲の広い測定法であると考えられる。しかし、TRS法においては、大型試験体の表面に補強用のレールを貼付する必要があるため、作業に多大な労力を要するため、TRS法は実施が困難であり、せん断性能を統計的に把握するための測定方法としては、必ずしも適した方法とは言えない。そこで、TRS法の作業上の負担を軽減し、実施を容易にすることを目的として油圧クランプ方式による改良型TRS法を提案し測定因子としてひずみの測定法および測定位置を取り上げ、それらがGの実測値に与える影響について検討を行い、それら接着方式および油圧クランプ方式TRS法の両者により測定された面内せん断性能を比較することで、統計的に面内せん断性能を評価する方法としての油圧クランプ方式TRS法の妥当性を検討した。

#### イ 研究方法

(1) 各種の規格・基準<sup>1-5)</sup>に定められるせん断性能測定法について、試験体の寸法・形状、載荷方法、測定可能項目、その他の特徴に関する調査を行った。

(2) ラワン(*Shorea spp.*)合板(5-ply、JAS特類1級)およびラーチ(*Larix dahurica*)合板(等厚3-ply、

JAS 特類 2 級) の 2 種類 の 構 造 用 合 板 (公 称 厚 さ 9mm) を 供 試 した。測 定 は、小 試 験 片 を 用 い る 試 験 方 法 である Edgewise shear (EWS) 法 と 大 型 試 験 体 を 用 い る 試 験 方 法 である Two-rail shear (TRS) 法 を 用 いた。EWS 法 は ASTM D 1037-96 に 準 じ て、TRS 法 は ASTM D 2719-96 Method C に 準 じ て 行 っ た。図 2-1-1、2-1-2 に その 詳 細 を 示 す。EWS 法 だ け は 試 験 体 の 長 手 方 向 を 表 層 単 板 の 繊 維 方 向 お よ び 直 交 方 向 の 2 方 向、TRS では 直 交 方 向 の み と し た。補 強 用 鋼 製 レール の 固 定 に あ た っ て、EWS 法 だ け は、試 験 片 表 面 の 摩 擦 係 数 を 測 定 し、予 測 さ れ る 最 大 荷 重 に お い て 滑 り を 生 じ ない よ う に、か つ、供 試 材 料 の 部 分 圧 縮 の 比 例 限 上 限 応 力 を 超 え ない 範 囲 と し て、ボ ル ト の 締 め 付 け ト ル ク を 1.0kgf-m と し た。TRS 法 だ け は、鋼 製 レール を エ ポ キ シ 樹 脂 接 着 剤 に よ り 試 験 体 に 貼 付 し た。両 試 験 法 と も、試 験 体 の 長 手 方 向 の 1/4 (端 部) お よ び 1/2 (中 央 部) の 位 置 の 表 裏 面 4 カ 所 に 2 軸 の ひ ず み ゲー ジ を 貼 付 し、ひ ず み 測 定 を 行 っ た。両 測 定 法 と も 平 均 変 形 速 度 を 0.5mm/min. と し た。

(3) 現 在 耐 力 壁 に 用 い ら れ て い る ラ ウ ン 合 板 (LAN) ・ ラ ー チ 合 板 (LRC) ・ カ ナ ダ 産 針 葉 樹 合 板 (CSP) ・ OSB ・ MDF の 市 場 流 通 品 に 加 え、将 来 使 用 の 見 込 ま れ る パ ー テ ィ ク ル ボ ー ド (PB) の 試 作 品、計 6 種 の 構 造 用 面 材 料 を 供 試 した<sup>2)</sup>。測 定 は ASTM D 2719 Method C<sup>3)</sup> に 準 じ て 行 っ た (図 2-1-2)。試 験 体 の 長 手 方 向 が 原 板 の 短 手 方 向 と 一 致 す る よ う に、400×600mm の 試 験 体 を 各 面 材 の 原 板 よ り 1 体 ず つ 計 5 体 採 取 し た。20℃、65%RH 環 境 下 で 養 生 後、補 強 用 鋼 製 レール を エ ポ キ シ 樹 脂 接 着 剤 に よ り 試 験 体 に 貼 付 し、0.50MPa で 圧 縮 し た。ひ ず み の 測 定 に は、セ ン サ 全 面 を 貼 付 す る 方 式 の ひ ず み ゲー ジ と 2 点 間 の ひ ず み を 測 定 す る 方 式 の パ イ 型 変 位 計 を 用 いた。試 験 体 長 手 方 向 の 1/2 (中 央 部) お よ び 1/4 (端 部) の 表 裏 面 計 4 箇 所 に 2 軸 90° 交 叉 型 の ひ ず み ゲー ジ (ゲ ー ジ 長 : 10mm) を、各 軸 が 圧 縮 お よ び 引 張 ひ ず み の 生 じ る 方 向 と な る よ う に 試 験 体 長 手 方 向 と 45° の 角 度 を 持 た せ て 貼 付 し た。上 記 に 加 え、中 央 部 の 表 裏 面 に ひ ず み ゲー ジ 3 種 (ゲ ー ジ 長 : 30・67・120mm) と パ イ 型 変 位 計 2 種 (標 点 間 距 離 : 150・200mm) を 貼 付 し た。こ れ ら 5 種 類 の セ ン サ の 軸 方 向 は、圧 縮 ひ ず み が 生 じ る 方 向 と し た。加 力 に あ た っ て は 木 材 試 験 機 (島 津 製 作 所 製 UH-300kNA 特 形) を 用 い、鋼 製 レール

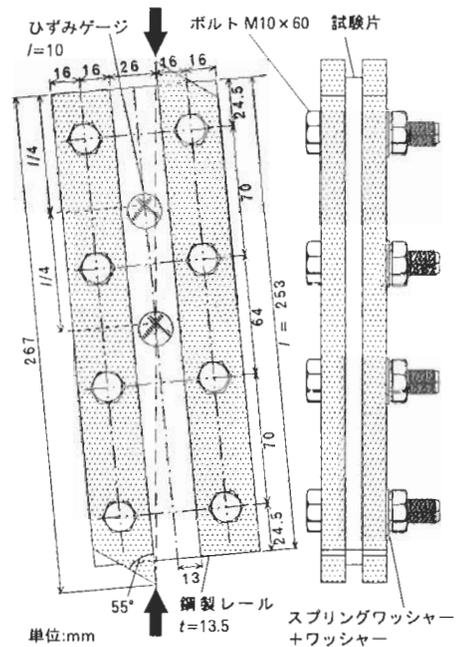


図 2-1-1. EWS 試験の詳細

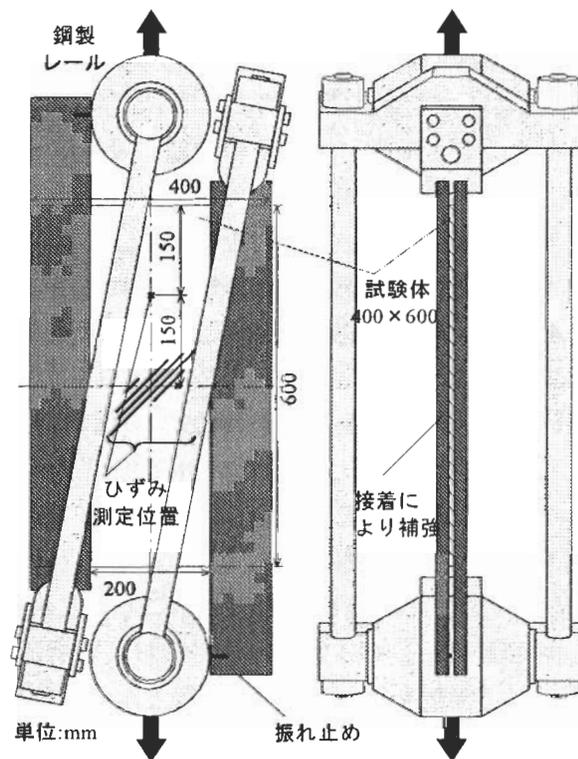


図 2-1-2. TRS 試験の詳細

よ び 引 張 ひ ず み の 生 じ る 方 向 と な る よ う に 試 験 体 長 手 方 向 と 45° の 角 度 を 持 た せ て 貼 付 し た。上 記 に 加 え、中 央 部 の 表 裏 面 に ひ ず み ゲー ジ 3 種 (ゲ ー ジ 長 : 30・67・120mm) と パ イ 型 変 位 計 2 種 (標 点 間 距 離 : 150・200mm) を 貼 付 し た。こ れ ら 5 種 類 の セ ン サ の 軸 方 向 は、圧 縮 ひ ず み が 生 じ る 方 向 と し た。加 力 に あ た っ て は 木 材 試 験 機 (島 津 製 作 所 製 UH-300kNA 特 形) を 用 い、鋼 製 レール

ルを介して引張力を加えることで試験体にせん断応力を生じさせた。なお、試験環境は 20℃、65% とし、加力時の平均変形速度は 1mm/min とした。荷重・クロスヘッド移動量(変形量)・ひずみをデータロガー(共和電業製 UCAM-20PC)により記録した。

(4) 前項と同じ木質系構造用面材料 6 種類より、400×600mm の試験体をその長手方向が原板の短手方向と一致するように、各種類 15 体ずつ採取し、20℃、65%RH 環境下で養生した。試験体長手方向の 1/2(中央部)および 1/4(端部)の表裏面計 4 箇所(2 軸 90° 交叉型のひずみゲージ(ゲージ長: 10mm)を、各軸が圧縮および引張ひずみの生じる方向となるように試験体長手方向と 45° の角度を持たせて貼付した。各種類 5 体ずつの試験体には、中央部の表裏面に、上記に加えてひずみゲージ 3 種(ゲージ長: 30, 67, 120mm)とパイ型変位計 2 種(標点間距離: 150, 200mm)を貼付した。ひずみゲージおよびパイ型変位計の軸方向は、圧縮ひずみが生じる方向とした。

本研究で考案した油圧クランプを用いた改良型 TRS 法の詳細を図 2-1-3 に示す。従来の TRS 法(従来型 TRS 法)と異なり、試験体の固定にあたって幅 100mm の鋼製レールに試験体の長辺を挟み、並列した 6 本の油圧シリンダによってクランプする方式を採用した。クランプ圧力は、試験体表面の摩擦係数と予測される最大荷重から、加力中にレールと試験体間の滑りを生じないように 20MPa とした。加力にあたっては木材試験機(島津製作所製 UH-300kNA 特形)を用い、鋼製レールを介して引張力を加えることでせん断応力を生じさせた。なお、加力時の平均変形速度は 1mm/min とした。荷重・クロスヘッド移動量(変形量)・ひずみをデータロガー(共和電業製 UCAM-20PC)により記録した。

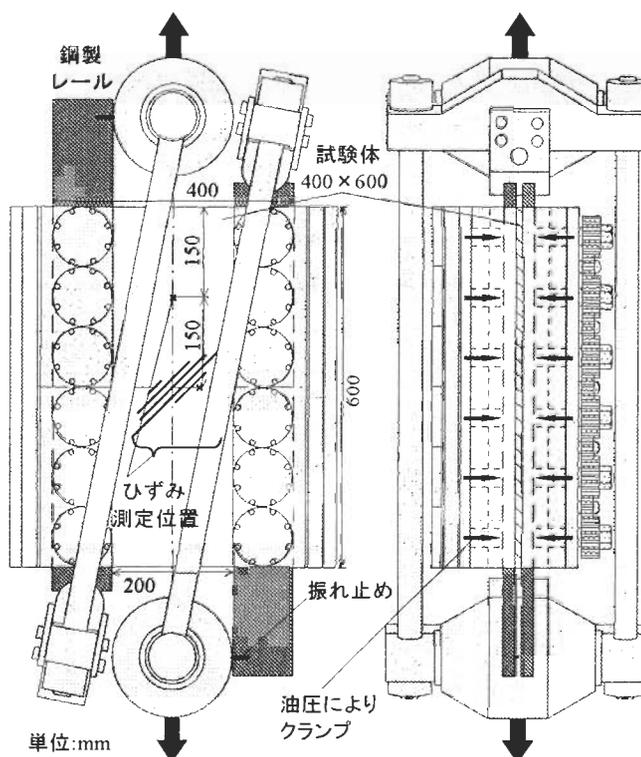


図 2-1-3. 油圧クランプ方式 Two-rail shear 法の詳細

## ウ 結果

(1) 表 2-1-1 に面材料の主要な面内せん断性能測定法を示す。

表 2-1-1. 各種規格・基準に定められる面内せん断性能測定法の比較

測定法	試験体の寸法 形状	載荷方法	測定可能項目		特徴	規格・基準等
			G	$\tau$		
LW改良法	小試験片 複雑	面内曲げ	○	×	スリットが モード I 破壊	ASTM D 2719 Method A の改良
Plate shear法	小試験片 正方形	面外曲げ	△	△	層内せん断の 影響あり	ASTM D 3044
Edgewise shear (EWS)法	小試験片 長方形	圧縮	△	○	木質ボード類 を対象	ASTM D 1037, 合板の日本農林規格
Two-rail shear (TRS)法	大型試験体 長方形	引張	○	○	実施が困難	ASTM D 2719 Method C, 枠組壁工法建築物構造計算指針

(2) 表 2-1-2 に EWS 法および TRS 法によって測定した構造用合板の面内せん断性能の一覧を示す。

表 2-1-2. EWS 法と TRS 法の測定結果の比較

供試材料	測定法	方向 <sup>c</sup>	試験体数	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	MC(%)	$\tau$ (MPa)	G(GPa)
ラーチ合板	EWS <sup>a</sup>	平行 <sup>d</sup>	5	0.670 (0.023)	—	4.50 (0.411)	0.562 (0.0620)
		直交 <sup>e</sup>	5	0.677 (0.025)	—	5.32 (0.271)	0.525 (0.0474)
		計	10	0.674 (0.023)	—	5.00 (0.466)	0.544 (0.0557)
	TRS <sup>b</sup>	直交 <sup>e</sup>	7	0.612 (0.014)	9.99 (0.333)	3.80 (0.417)	0.672 (0.0868)
ラワン合板	EWS <sup>a</sup>	平行 <sup>d</sup>	8	0.622 (0.013)	—	5.68 (0.288)	0.523 (0.0373)
		直交 <sup>e</sup>	8	0.622 (0.017)	—	5.39 (0.773)	0.512 (0.0692)
		計	16	0.622 (0.015)	—	5.54 (0.583)	0.517 (0.0540)
	TRS <sup>b</sup>	直交 <sup>e</sup>	4	0.627 (0.007)	7.81 (1.416)	5.00 (0.659)	0.661 (0.0673)

<sup>a</sup> Edgewise shear法：20°C65%RH環境下で実施，<sup>b</sup> Two-rail shear法：室温環境で実施，

<sup>c</sup> 試験体長手方向，<sup>d</sup> 表層単板の繊維方向と平行，<sup>e</sup> 同直交，( )内：標準偏差。

(3) TRS 法により測定した各種構造用面材料のせん断性能を表 2-1-3 に示す。

表 2-1-3. Two-rail shear 法による各種面材料のせん断性能

記号	n	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	MC (%)	G (GPa)	$\tau$ (MPa)
LAN	5	0.567 (0.0331)	8.98 (0.165)	0.446 (0.016)	5.31 (0.154)
LRC	5	0.647 (0.0525)	10.7 (0.353)	0.513 (0.027)	4.55 (0.381)
CSP	5	0.514 (0.0505)	9.91 (0.426)	0.556 (0.102)	4.17 (0.264)
OSB	5	0.651 (0.0190)	9.49 (0.110)	1.34 (0.149)	8.44 (0.336)
MDF*	9	0.763 (0.0147)	8.06 (0.223)	1.16 (0.063)	11.1 (1.334)
PB	5	0.831 (0.0069)	9.39 (0.140)	1.66 (0.071)	9.44 (0.174)

( )内の数値は標準偏差

\* $\tau$ についてははく離の生じなかった5体の値

(4) 油圧クランプ方式による各面材料のせん断性能を表 2-1-4 にまとめて示す。

表 2-1-4. 油圧クランプ方式 Two-rail shear 法による各種面材料のせん断性能

	n	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	MC (%)	G (GPa)	$\tau$ (MPa)
LAN	15	0.578 (0.0317)	8.62 (0.143)	0.449 (0.0386)	5.51 (0.324)
LRC	15	0.655 (0.0493)	10.1 (0.392)	0.525 (0.0661)	4.44 (0.525)
CSP	15	0.468 (0.0323)	9.42 (0.408)	0.603 (0.0693)	4.26 (0.620)
OSB	15	0.649 (0.0147)	8.97 (0.247)	1.37 (0.122)	8.51 (0.460)
MDF	15	0.764 (0.0102)	7.62 (0.312)	1.10 (0.0386)	12.9 (0.679)
PB	15	0.843 (0.0114)	8.99 (0.135)	1.57 (0.123)	9.70 (0.845)

( )内の数値は標準偏差

## エ 考察

(1) 主要な面内せん断性能測定法(表 2-1-1)について概説する。LW 改良法は、ASTM D 2719 Method A を改良したもので、せん断面の 4 辺を補強することから、G の測定に関しては最も精度が高いと考えられるが、試験片形状が複雑なため加工が困難である。また、面内曲げ変形を生じさせるため、せん断面の引張側端部のスリットがモード I (開口)破壊してしまい、 $\tau$  の測定値

は極めて低い値となる。Plate shear 法は ASTM D 3044 に規定される方法で、試験片の対角線上の 2 点で支持し、他方の対角線上の 2 点で加力して面外曲げ変形を生じさせる方法である。試験片の加工が不要であるが、ねじりせん断法の一つであるため、 $G$ 、 $\tau$ ともに層内せん断性能の影響を受ける。Edgewise shear (EWS) 法は木質ボード類を対象とした ASTM D 1037 に規定される方法で、試験片の長辺のみを補強する。小試験片を用いるため簡便であるが、 $G$  の測定は規定されていない。EWS 法は、1999 年に構造用合板の JAS 規格に、1 級の要求性能である  $\tau$  の測定法として導入されている。Two-rail shear (TRS) 法は ASTM D 2719 Method C に規定される方法で、EWS 法と同様に長辺のみを補強する。大型試験体を用いるため、 $G$ 、 $\tau$ ともに実大性能が測定可能であるが、実施が困難である。TRS 法は、1998 年に枠組壁工法建築物構造計算指針に採用された。各測定法とも長所・短所があるが、ここでは  $G$ 、 $\tau$ ともに測定可能な TRS 法を基準の測定方法とみなし、試験方法が類似しており、かつ、簡便な EWS 法を取り上げ、両測定法を用いた評価結果について比較・検討することとした。

(2) EWS 法による試験時の荷重－変形関係の比例域の変形とひずみは良い直線関係を示した。また、破壊はボルト孔に起因するものは見られず、補強用鋼製レールの内側のせん断範囲で生じたため、ボルトの締め付けトルクは適正であった。図 2-1-4 にひずみの測定位置による  $G$  の差異を示す。TRS 法によるラーチ合板の測定値のみ有意差をもって端部が低く(危険率 5%、以下同じ)、応力分布の影響<sup>6)</sup>が見られた。TRS 法のラワン合板と EWS 法については、ひずみの測定位置による有意差は見られなかった。表裏面の測定値の間には有意差は見られなかった。全体的に TRS 法の測定値の方が高い値を示したため、これ以降、4 カ所のひずみのそれぞれから算出した  $G$  の平均値で検討を行う。EWS 試験体の木取り方向について見ると、積層数が少なく異方性の高いラーチ合板の  $\tau$  は直交方向の測定値が平行方向より大きい値を示したが、 $G$  およびラワン合板の  $\tau$  には方向による有意差は見られなかった。測定法について比較すると、 $G$  は両合板とも TRS 法の方が大きい値を示した。EWS 法は、試験片短辺方向の引張変形を拘束しないこと、せん断領域のレール間距離が狭くひずみの測定精度が低いことから、さらに検討を要する。 $\tau$  はラーチ合板のみ EWS 法の方が大きい値を示した。ラーチ合板は、節等の欠点が集散的に現れることから、欠点の影響が試験体寸法によって異なると考えられる。ラーチ合板に EWS 法を適用して実大性能を推定するためには、寸法効果に関する補正係数を導出する必要があると考えられる。

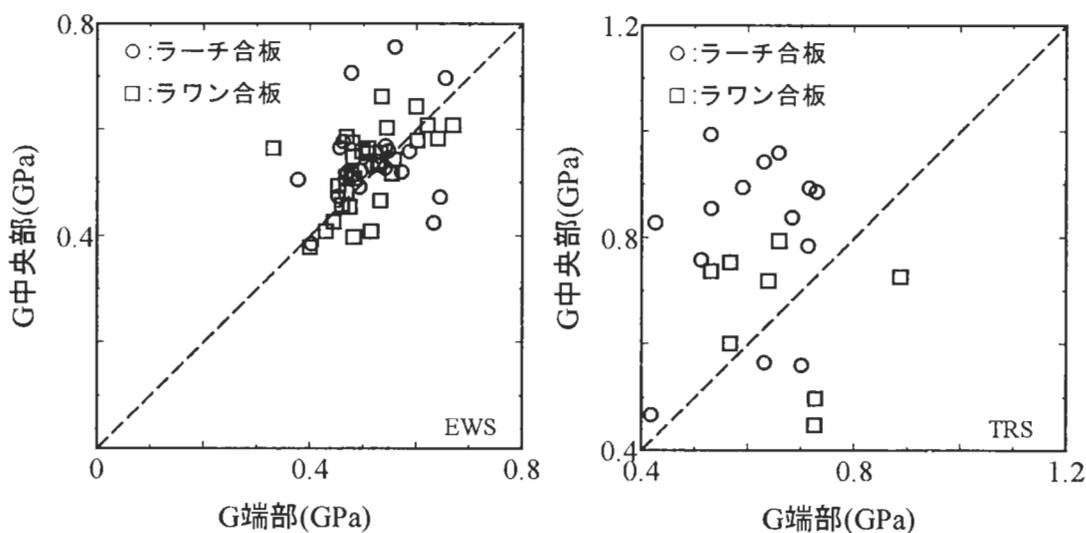


図 2-1-4. ひずみ測定位置による  $G$  の差異

(3) すべての試験体において、最大荷重の0.1-0.4倍の範囲は荷重-ひずみ関係の直線領域内であったため、Gの算出にあたっては上記の範囲の値を用いることとした。最も $\tau$ が大きかったMDFについては、レールと試験体の間におけるはく離や層内せん断破壊の生じたものが見られた。そこでMDFに関しては、レール接着時の圧縮圧を0.83MPaとした試験体を追加した。試験ははく離が生じなかった試験体が5体に達するまで行った。表2-1-3中の $\tau$ はその5体の値であり、その他の値ははく離の見られたものも含め合計9体の値を示した。微細なエレメントからなるMDFは表面が緻密であり、また含脂率も高いことから、他の面材料に比べ接着剤の浸透により形成される投錨効果が有効に得られず、はく離が生じたものと思われる。圧縮圧を上げるとレールのはく離は見られなくなったが、層内せん断破壊は圧縮圧の大小によらず生じたことから、貼付されたレールを介して荷重を付加する加力方式に由来すると考えられる。すなわち、試験体厚さ方向の強度・弾性係数が均一でないMDFにおいては、厚さ方向の応力分布の影響が顕著に表れ、層内せん断破壊したものと考えられる。

Gの測定値は、ひずみの測定方法が異なってもほぼ同様の数値を示し、危険率5%で有意な差は見られなかった(図2-1-5)。したがって、ひずみの測定方法としては、本研究で用いたいいずれの

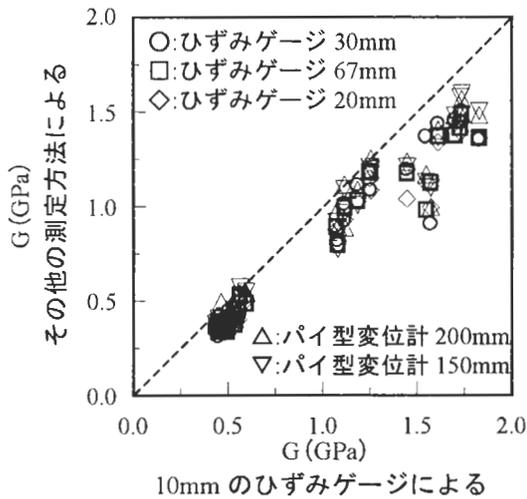


図 2-1-5. ひずみ測定法による G の比較

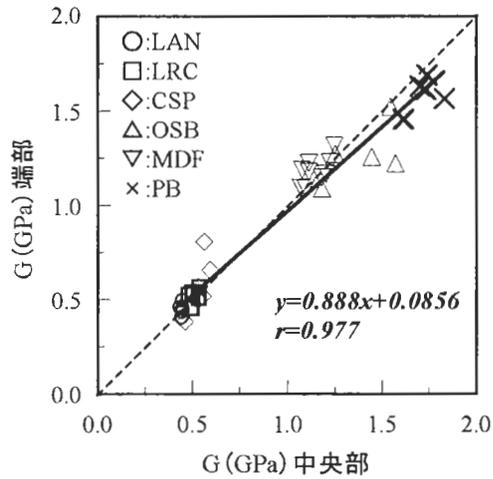


図 2-1-6. ひずみ測定位置による G の比較

方式・測定長さのセンサを用いてもよいことがわかる。中央部および端部で測定されたひずみのそれぞれから算出されるGの値を比較すると、両数値はほぼ一致し、危険率5%で有意な差は見られなかった(図2-1-6)。よって、本研究においては、試験体長手方向における応力分布が測定値に及ぼす影響はないことが確認された。

各面材料のせん断強度( $\tau$ )を比較すると(図2-1-7)、合板3種(LAN・LRC・CSP)はほぼ同程度の値となり、構造用合板のJAS規格1級の基準値を満足する値を示した。ボード

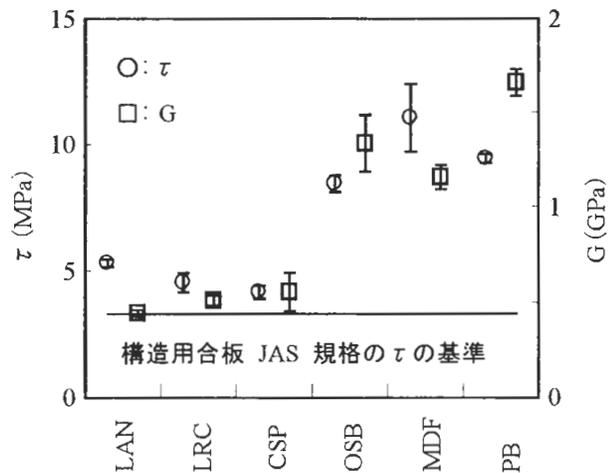
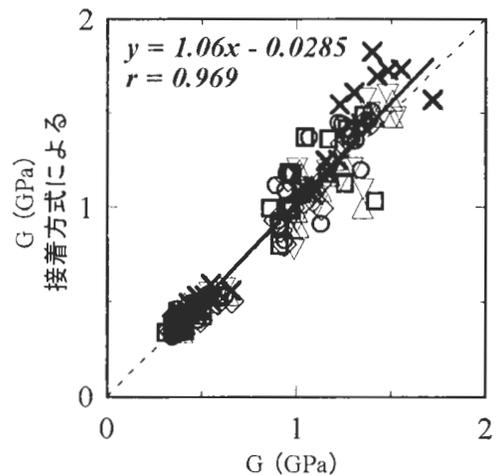


図 2-1-7. 各面材料のせん断性能の比較

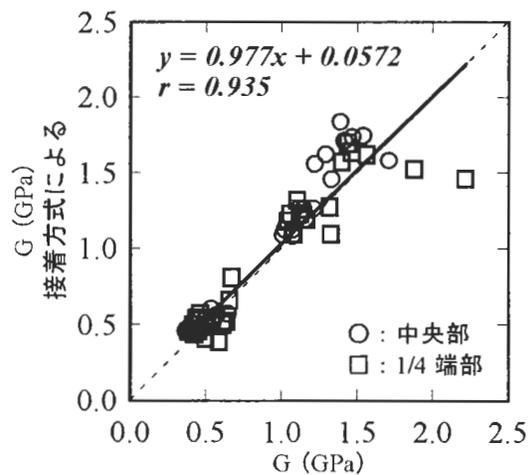
類3種(OSB・MDF・PB)はそれらの2倍程度の値となった。層内せん断破壊が生じたものが見られたMDFについては、他の面材料に比べ値のバラツキが大きかった。Gについて各面材料で比較すると(図2-1-7)、 $\tau$ と同様にボード類が合板に比べ高い値を示した。合板は最大荷重を過ぎた後もすぐには破断せず、高い靱性を示したが、ボード類は脆性的に破断した。また、今回用いた試作品のPBは、OSB・MDFと同程度のせん断性能を示したことから、十分な剛性・耐力を有していると考えられる。

(4) 図2-1-3に詳細を示した油圧クランプ方式においては、試験体はレールにクランプされるのみであるため、それらの間における滑りの発生が問題となる。改良型TRS法の応力-ひずみ関係の比例域は、最大応力の0.1-0.4倍程度の範囲であった。また、変形量とひずみは良い直線性を示したため、レールと試験体間の滑りは生じなかったと考えられる。しかし、クランプ圧力を20MPaとすると、弾性領域においては測定上問題となるような滑りは見られなかった。試験体中央部における各ひずみ測定法により求めたGを両試験方法間で比較した(図2-1-8)。PBにおいては10・30・67・120mmの各ひずみゲージによるGに危険率5%(以下同様)で有意な差が見られたが、平均値の差は6~17%程度であり大きなものではなかった。全体としては、両試験方法間に有意な差は見られなかった。また、各ひずみ測定位置における10mm2軸ひずみゲージによるGを両試験方法間で比較すると(図2-1-9)、PBの中央部においてのみ有意差が認められたが、他では見られず、全体でも同様であった。以上より、試験方法の違いが各ひずみ測定方法および測定位置によるGに影響を及ぼさないことが確認された。次に、両試験方法により測定された物性値に関して検討を行った。10mm2軸ひずみゲージにより測定されたGを両試験方法間で比較すると(図2-1-10)、両者の値はよく一致し、有意な差は見られなかった。同様に、 $\tau$ を比較したところ(図2-1-11)、全体としては有意な差は見られなかったが、MDFにのみ有意差が見られた。これは、接着方式においては、前項で示したように、 $\tau$ が最大であったMDFに層内せん断で破壊した試験体が見られたのに対して、油圧クランプ方式においては、そのような現象は生じなかったためであると考えられる。MDFを除く5種の面材料では両者の値はよく一致した。以上より、統計的に面内せん断性能を評価する方法として油圧クランプ方式TRS法が妥当であることが示された。さらに、層内



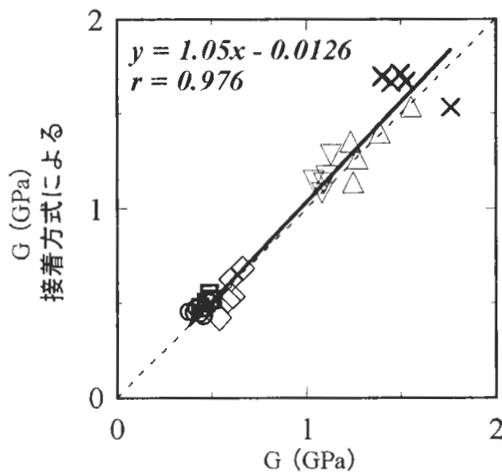
油圧クランプ方式による  
図2-1-8. 各ひずみ測定法によるGの比較

- × : ひずみゲージ 10mm
- : ひずみゲージ 30mm
- : ひずみゲージ 67mm
- ◇ : ひずみゲージ 120mm
- ▽ : パイ型変位計 150mm
- △ : パイ型変位計 200mm

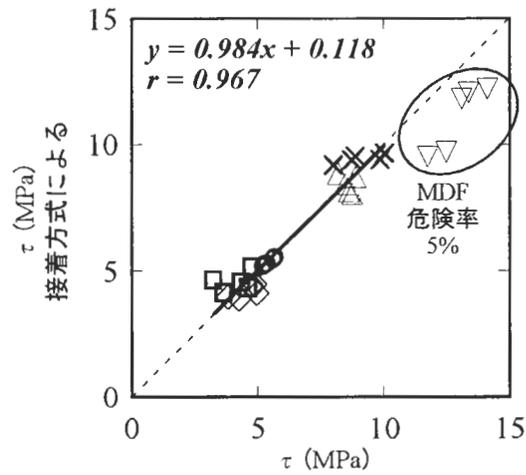


油圧クランプ方式による  
図2-1-9. 各ひずみ測定位置によるGの比較

せん断破壊が生じにくいことから、接着方式に比して、より有効な試験方法であると考えられる。よって、構造用面材料における面内せん断性能の統計値としては、表 2-4 に示した油圧クランプ方式 TRS 法による値をもとにしてよいものと判断される。



油圧クランプ方式による  
図 2-1-10. 試験方法による G の比較



油圧クランプ方式による  
図 2-1-11. 試験方法による  $\tau$  の比較

○ : LAN □ : LRC ◇ : CSP △ : OSB ▽ : MDF × : PB

オ 今後の問題点  
特になし。

#### カ 要約

大型試験体を用いた構造用面材料の面内せん断性能測定方法の実施を容易にするため、油圧クランプを用いた改良を加え、実大せん断性能に及ぼす因子の影響を検討することでその妥当性を評価した。さらに、同測定法を適用して構造用面材料の面内せん断性能に関する統計的数値を導出した。なお、本研究により開発された改良型 TRS 法は ISO 規格原案に採り入れられた。

#### キ 引用文献

- 1) 枠組壁工法建築物設計の手引き・構造計算指針編集委員会編(2002)2002 年枠組壁工法建築物構造計算指針, (社)日本ツーバイフォー建築協会.
- 2) (2003) “合板の日本農林規格”, 平成15年2月27日農林水産省告示第233号.
- 3) American Society for Testing and Materials(1994)Standard Test Methods for structural Panels in Shear Through-the-Thickness. D2719-89.
- 4) American Society for Testing and Materials(1986)Standard Test Methods for SHEAR MODULUS OF PYLWOOD. D3044-76.
- 5) American Society for Testing and Materials(1996)Standard Test Methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panel materials. D1037-96.
- 6) 園田 他(1998)1998 年度日本建築学会大会(九州)学術講演梗概集, C-1 構造Ⅲ, p.7-8.

(渋沢龍也・秦野恭典)

## 2. 構造用面材料の耐火性能の評価法確立のための開発調査

### ア 研究目的

平成 12 年に建築基準法、同施行令、国土交通省告示などが改正され、それまでの仕様書的な規定から性能規定を目指した規定へと生まれ変わった。

この改正により、建築物や建築材料の火災安全性を評価する試験法や評価項目が変更された。防耐火構造の試験方法については、国際的な試験方法を使用しようとの配慮から JIS A 1304 に代えて、ISO834 が採用された。いずれの試験方法も、ほぼ同様の標準加熱温度曲線を採用していることから、試験体の加熱方式に関してはそれほど大きな変更とはなっていない。しかし、評価においては、性能規定化の趣旨を反映させ、耐火構造、準耐火構造、防火構造及び準防火構造に対して、建築物の柱、はり、床、屋根等の部分ごとに性能の内容を非損傷性、遮熱性、遮炎性に区分し、政令で技術的基準が明確にされた。さらに、耐火設計については、主要構造を「大臣が定めた、または認定した」耐火構造とする仕様規定ルート（従来からある方法で、ルート A と呼ばれる）に加え、耐火性能を検証する方法が追加された。これには、「耐火性能検証法」に基づき、告示に示される計算方法を用いて検証を行う方法（大臣の認定を受けることなく主事確認で設計が可能、ルート B）と「耐火性能検証法」以外の方法で耐火性能を検証し、その妥当性について指定性能評価機関で評価を受け大臣の認定を受ける方法（ルート C）がある。

このような一連の改正を受け、従来、原則、木造禁止とされていたものについても、耐火設計法により性能が確かめられた場合は、主要構造部に木質材料を使用することが可能となり、建築部材への木質材料の利用拡大への機運が高まってきている。また、建設リサイクル法の施行にともない、大量の木質建築廃材の利活用が求められることとなり、その用途のひとつとしてパーティクルボード(PB)やミディアムデンシティファイバーボード(MDF)の住宅等への積極的な利用が期待されている。

本研究では、木質の構造用面材料として、今後、用途の拡大が期待される厚物の合板、パーティクルボード、MDF をとりあげた。木質ボードは内外壁や床での利用が想定されるが、火災安全性を要求される建築物の部材に使用する場合には、一定時間以上

- ①構造耐力上支障のある変形、熔融、破壊その他の損傷を生じない（非損傷性）、
- ②加熱面以外の面（屋内に面するもの）の温度が可燃物燃焼温度以上に上昇しないこと（遮熱性）
- ③屋外に火炎を出す原因となる亀裂その他の損傷を生じさせない（遮炎性、間仕切り壁では不要）といった要件を満たす必要がある。

平成 12 年の建築基準法等の改正によって、建築材料の火災安全性評価手法が大幅に改訂され、従来の性能評価手法で得られ、蓄積されたデータが活用できなくなった。ここでは、厚物の木質材料の耐火性能に関するデータの蓄積を行うとともに、遮熱性能を明らかにし、その燃焼特性を把握して、新たな木質の構造用面材料開発に資することを目的とする。

### イ 研究方法

#### (1) 試験体の作成

実験に用いた試験体は、スギ合板、アカマツ合板、カラマツ合板、ラジアータパイン合板、ラ

一チ合板、13M タイプおよび 18M タイプのパーティクルボード（13 および 18 は曲げ強さによる区分で 13 は  $13.0\text{N/mm}^2$  以上を示す。M は接着剤区分で M はその性能がユリア・メラミン共縮合樹脂系またはこれと性能が同等以上のものであることを示す）、MDF であった。試験体の種類・仕様を表 2-2-1 に示す。接着剤の種類で P はフェノール樹脂接着剤、MU はユリア・メラミン共縮合樹脂接着剤を意味する。なお、試験体の寸法は幅 800mm × 長さ 1500mm であった。

表 2-2-1 試験体の種類・仕様

試験体の種類	厚さ (mm)	プライ 数	比重	接着 剤
スギ合板	28	11	0.32	P
アカマツ合板	28	11	0.55	MU
カラマツ合板	28	11	0.55	MU
ラジアータ合板	28	11	0.51	P
ラーチ合板	28	11	0.67	P
パーティクルボード 13M	30	—	0.77	MU
パーティクルボード 18M	30	—	0.77	MU
MDF	30	—	0.65	MU

(2) 耐火性能試験

耐火性能試験は独立行政法人建築研究所の壁用の耐火試験炉を用い、ISO834 に準じて実施した。加熱中の炉内温度は 2-2-1 式となるようコンピュータで制御されている。

$$T = 345 \log_{10} (8t + 1) + 20 \quad (2-2-1) \text{ 式}$$

ここで、 $T$  は炉内の平均温度 (°C)、 $t$  は時間 (分) である。

炉内の時間温度曲線を図 2-2-1 に示す。

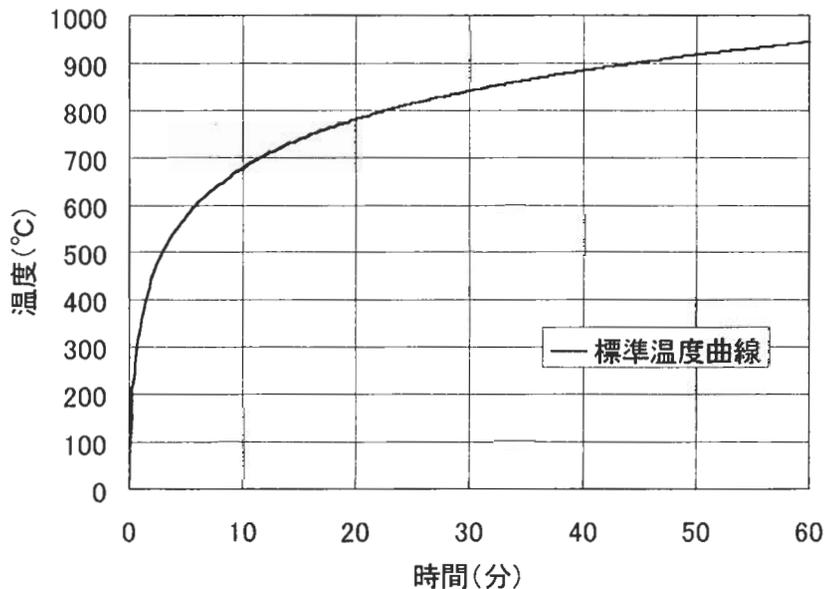


図 2-2-1 標準温度曲線(ISO834)

耐火炉の加熱面の大きさは約 4m × 4 m であるが、加熱試験に当っては、800mm × 1500mm

の試験体を加熱面中央にセットして加熱試験が実施できるよう、試験体以外の部分に ALC 板を貼った試験体ホルダーを用いた（図 2-2-2）。

(3)裏面温度の測定

耐火試験時の試験体の裏面温度は、日本アビオニクス社製熱画像解析システムを用い、15 秒間隔で測定した。熱画像測定イメージを図 2-2-2 に併せて示す。

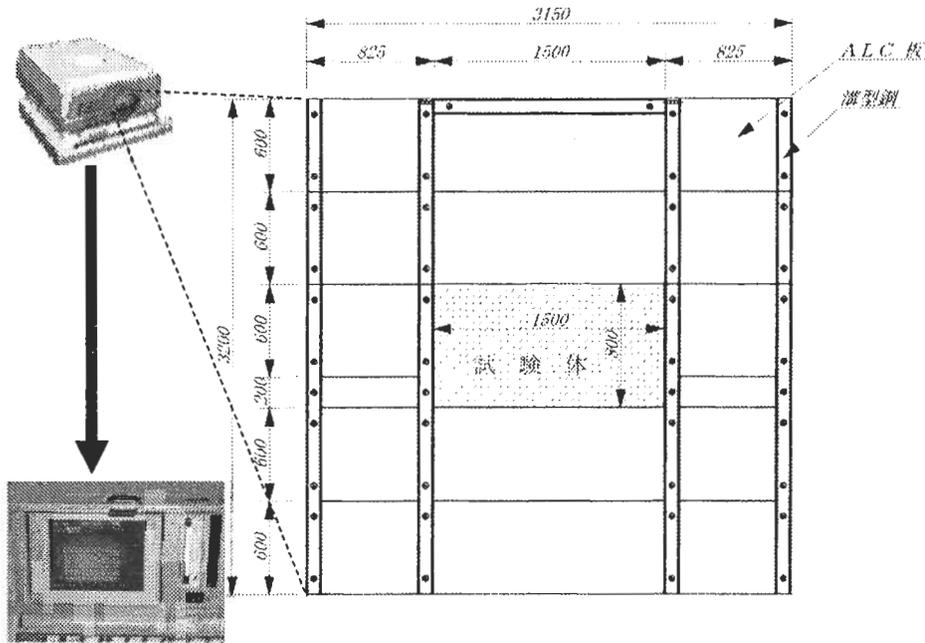


図 2-2-2 壁炉試験体ホルダーへの試験体のセッティングと熱画像測定イメージ図

ウ 結果

表 2-2-2 厚物木質ボードの ISO834 試験結果

耐火試験の結果は表 2-2-2 のとおりである。指定性能評価機関での壁材料の火災安全性評価項目には遮熱性があり、ISO834 の試験方法による評価において、「加熱開始から加熱終了まで試験体の裏面温度が平均で160℃、最高で200℃以下であること」が判定基準となっている。そこで、ここでは、裏面の最高温度が160℃または200℃に達した時間を示した。裏面が200℃に達した時の平均温度は、試験体中央部（200℃の温度位置を含む30cm×55cmの範囲）の平均値である。

No.	種類	試験時間分	160℃		200℃	
			時間分	秒	時間分	秒
1	スギ合板	27	25'00"	26'00"	—	104.04
2	スギ合板	28.5	28'00"	—	—	—
3	アカマツ合板	31	29'45"	31'00"	149.95	—
4	アカマツ合板	32	30'15"	32'00"	156.98	—
5	カラマツ合板	34	30'45"	33'30"	165.57	—
6	カラマツ合板	32	30'15"	—	—	—
7	ラジアータ合板	30	28'45"	—	—	—
8	ラジアータ合板	30	27'30"	29'00"	124.65	—
9	ラーチ合板	33	31'15"	32'45"	154.26	—
10	PB13M	39	36'45"	38'30"	149.12	—
11	PB13M	39	36'30"	38'15"	148.35	—
12	PB18M	36.5	36'15"	—	—	—
13	PB18M	37.5	36'15"	—	—	—
14	MDF	36.5	35'15"	36'30"	138.25	—

裏面の最高温度が160℃に達する時間は、いずれの試験体でも25分以上であった。

図 2-2-3 に試験開始からの試験体裏面温度の推移を示す。

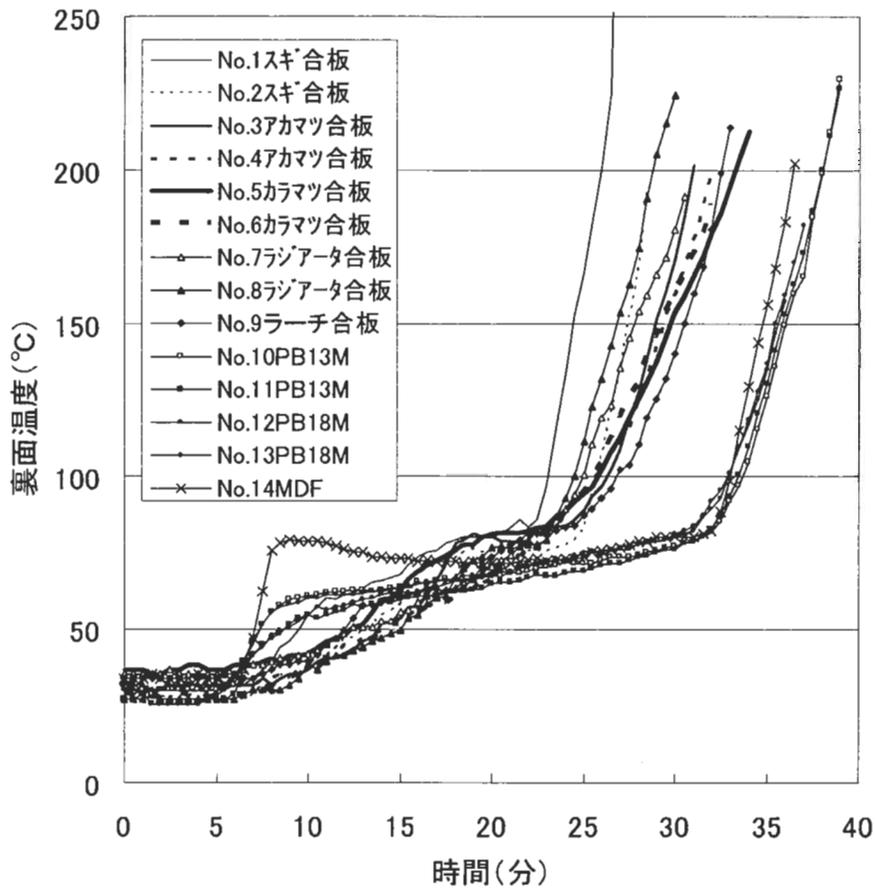


図 2-2-3 試験体裏面温度の推移

また、熱画像の一例を図 2-2-4 に示す。この図より、裏面の温度上昇は一様ではないことがわかる。合板の場合は節等の影響もあり、特に温度上昇が早い箇所が観察される場合もあった。なお、試験体と ALC 板の間は、セラミックファイバブランケットを詰め、耐火用接着剤で接着し、また、耐火炉内の試験体と ALC 板の境界部分もセラミックファイバブランケットと耐火接着剤で被覆し、試験体の端部からの燃え抜けを極力抑える措置を講じた。

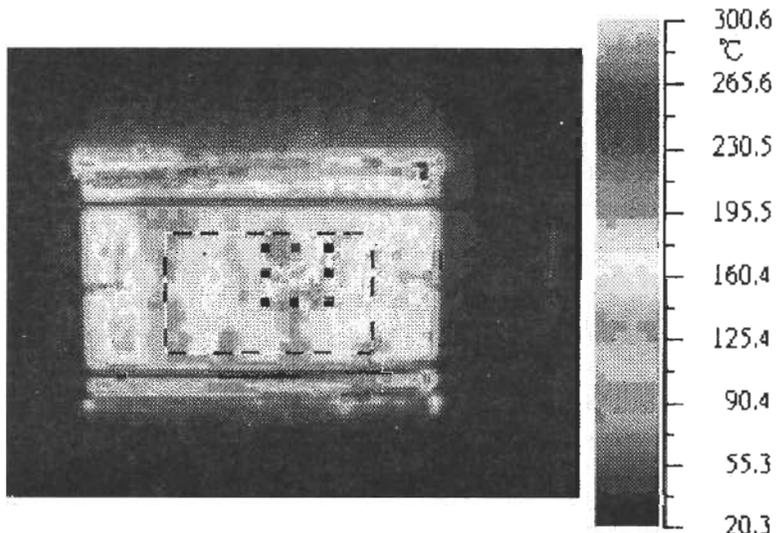
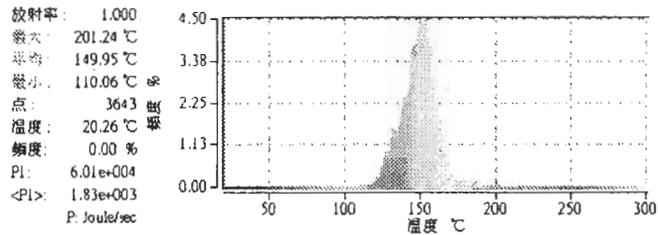
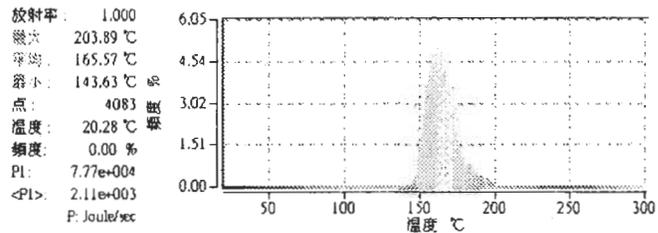


図 2-2-4 熱画像の一例 (ラーチ合板 32 分 45 秒)  
 図中の四角で囲まれた範囲は平均温度の計算範囲  
 点で囲まれた範囲は最高温度が観測された範囲

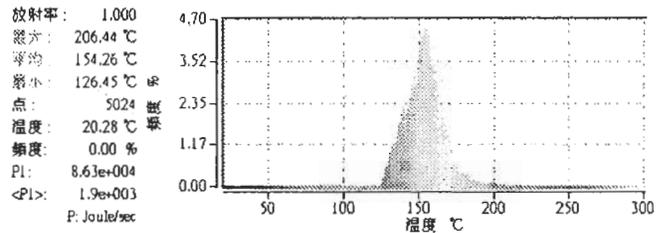
スギ合板 (No.1)、カラマツ合板 (No.5)、ラーチ合板 (No.9)、パーティクルボード 13M (No.10)、MDF (No.14) の裏面の最高温度が 200 °Cに達したときの裏面の温度分布と時間を図 2-2-5 に示す。



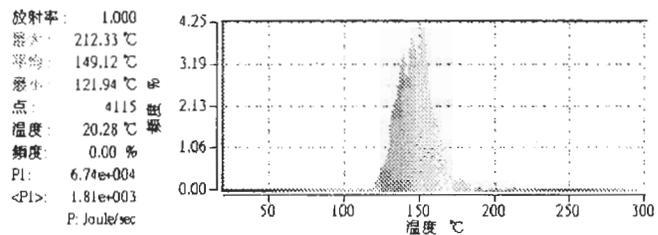
スギ合板 (No. 1) 26分00秒



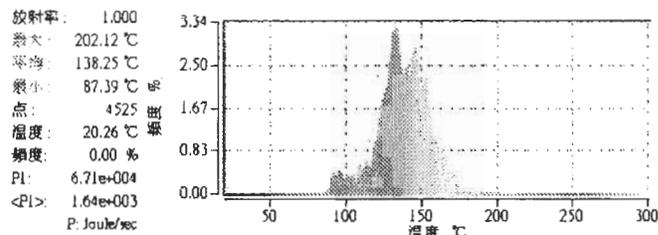
カラマツ合板 (No. 5) 33分30秒



ラーチ合板 (No. 9) 32分45秒



パーティクルボード13M (No. 10) 38分30秒



MDF (No. 14) 36分30秒

図 2-2-5 裏面温度が200°Cに達した際の裏面の温度分布

## エ 考察

今回使用した材料は、厚さ28mm～30mmで、ほぼ同じ厚さの試験体とみなして差し支えない厚さであったが、裏面の最高温度が200℃に達するまでの時間は26分～38分30秒であった。また、裏面の最高温度が200℃に達したとき平均温度は、カラマツ合板を除いて160℃以下となっており、遮熱性能の判定では最高温度が重要な因子となっていることが分かる。

この結果から、いずれの試験体もボード1枚の単体では、準耐火構造として間仕切壁や外壁の耐力壁ならびに非耐力壁で延焼のおそれのある部分に要求される45分または1時間の遮熱性能を満たすことはできなかったが、厚さ28mmのアカマツ、カラマツ、ラーチの各合板、厚さ30mmのパーティクルボード、MDFでは、防火構造の外壁や準耐火構造の外壁の非耐力壁で延焼のおそれのない部分に求められる30分の遮熱性能は満たすことが明らかとなった。

樹種や木質ボードの種類によって裏面の温度上昇速度が異なることについては、密度や熱伝導率の影響が考えられる。

製材品においても、厚さが同じであれば、密度が高い樹種の方が燃え抜け時間が遅くなる傾向が見られる。厚物の木質ボードでも同じ傾向が見られるかどうかを確認するため、材料の密度と裏面温度が所定の温度に達する時間の関係を比較した（図2-2-5）。

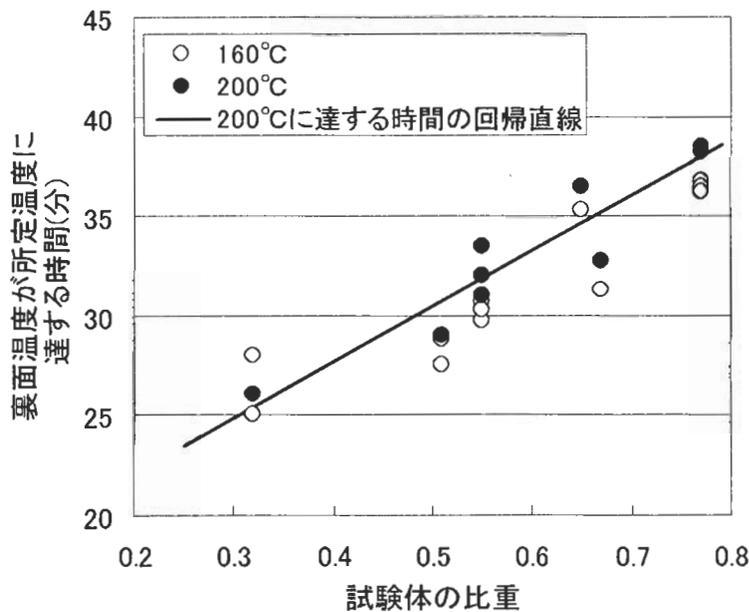


図2-2-5 試験体の比重と裏面温度が所定温度に達する時間の関係

この図より材料の比重が高い試験体ほど裏面温度が160℃あるいは200℃に達する時間が遅くなることがわかる。裏面の最高温度が200℃に達する時間（ $t_{200^\circ\text{C}}$  分）と比重（ $d$ ）の関係の回帰式を求めると2-2-2式が与えられる。

$$t_{200^\circ\text{C}} = 27.9 \times d + 16.5 \quad (n = 9, r^2 = 0.88) \quad (2-2-2) \text{ 式}$$

また、材料の熱伝導率も燃え抜け時間に影響を及ぼすことが予想される。耐火試験に用いた各試験体の熱伝導率の測定結果は以下の通りであった。

①スギ合板 (28mm)	: 0.1203 W/m·K
②アカマツ合板 (28mm)	: 0.1391 W/m·K
③カラマツ合板 (28mm)	: 0.1425 W/m·K
④ラジアータ合板 (28mm)	: 0.1479 W/m·K
⑤ラーチ合板 (28mm)	: 0.1651 W/m·K
⑥パーティクルボード 13M (30mm)	: 0.1438 W/m·K
⑦パーティクルボード 18M (30mm)	: 0.1388 W/m·K
⑧ MDF (30mm)	: 0.1218 W/m·K

比重の場合と同様に、熱伝導率と裏面温度の上昇の関係についても検討したが、比重の場合に見られたような明瞭な相関は見られなかった。

試験体の厚さに関しては、ほぼ同じ厚さの試験体を用いて比較したので、数値をあげて比較することは出来ないが、試験体の厚さが大きくなれば、当然、その分、燃え抜け時間は遅くなると予想される。

以上のことから、厚物の木質ボードの燃え抜けについては、試験体の厚さと比重から性能を予測できると考えられ、遮熱性が要求される壁や床部材の設計に活用することが可能であることが明らかとなった。

また、試験体の裏面全体の温度を測定できる熱画像による温度測定システムは、このような温度斑を生じる可能性のある試験体の遮熱性能評価手法としては、測定位置が限定される熱電対による測定よりも有効であることが確認された。

#### オ 今後の問題点

今回の研究で得られた成果は、厚物の木質ボード単体の面材料としての ISO834 試験における性能であった。建築材料の防火性能はコーンカロリメーター等の試験により材料単体での評価が可能であるが、火災安全性からみた建築物の構造性能は、材料単体での評価ではなく、たとえば、その構成含めた壁や床のユニット全体として評価する必要がある。

現在、木造三階建共同住宅における 1 時間準耐火構造やツーバイフォー住宅における 1 時間耐火構造が認められ、その仕様が定められているが、木質系の耐火構造、準耐火構造は、ようやく「道が開かれた」といった段階であり、木質材料の利用可能性の観点からは、まだまだ研究開発の余地が残されている。

本交付金プロジェクト「性能規定化に対応した国産材による高信頼性構造用材の開発調査」での成果は構造用合板「ネダノン」の技術資料として出版され、構造用合板の普及に寄与しているところであるが、地球温暖化防止推進の観点から木質材料の利用拡大が模索される中で、こうした厚物合板や、廃材を利用したパーティクルボードの技術開発・用途開発がますます求められよう。

新たな木質面材料の用途開発に当っては、火災安全性を確保するための技術開発が不可欠となる。今後は、今回用いた厚物の木質ボードを構成要素にもつ壁や床を作成して、45 分準耐火、1 時間準耐火あるいは 1 時間耐火といった性能試験を行って非損傷性、遮熱性、遮炎性についてのデータの蓄積を行い、大臣認定等への道筋をつけつつ、建築材料として木質ボードの利用拡大を図っていくことが課題である。

## カ 要約

建築基準法令およびその関連告示が改正され、木質材料を建築材料に使用できる道は大きく開かれた。しかし、それを現実のものにするためには、新たな法令の下での性能試験において、基準を満たす材料や構造方法を開発する必要がある。本研究では、厚さ 30mm 程度の木質ボード（スギ合板、アカマツ合板、カラマツ合板、ラジアータパイン合板、ラーチ合板、13M タイプおよび 18M タイプのパーティクルボード、MDF）を調整し、ISO834 による壁の耐火性試験を実施して、その遮熱性能を検証した。裏面の最高温度が200℃に達するまでの時間は26分～38分30秒であった。いずれの試験体もボード1枚の単体では、準耐火構造として間仕切壁や外壁の耐力壁ならびに非耐力壁で延焼のおそれのある部分に要求される45分または1時間の遮熱性能を満たすことはできなかったが、厚さ28mmのアカマツ、カラマツ、ラーチの各合板、厚さ30mmのパーティクルボード、MDFでは、防火構造の外壁や準耐火構造の外壁の非耐力壁で延焼のおそれのない部分に求められる30分の遮熱性能は満たすことが明らかとなった。裏面温度の上昇速度には、材料の密度の影響が大きいことが明らかとなり、密度と材料の厚みから面材料の遮熱性能が予測できることが示唆された。また、熱画像による温度測定システムは、温度斑を生じる可能性のある試験体の遮熱性能評価手法としては、温度の測定位置が限定される熱電対による測定よりも有効であることが確認された。

## キ 引用文献

## 謝辞

本研究の推進に当っては、独立行政法人建築研究所の遊佐秀逸氏並びに増田秀昭氏および国土技術政策総合研究所の吉田正志氏の多大なご協力と助言を頂いた。ここに感謝の意を表します。

(筆者氏名：原田寿郎、上杉三郎)

### 3. 寸法の異なる構造用面材の曲げ性能評価技術の開発調査

#### ア 研究目的

近年、床下地材として24mm以上35mm程度までの比較的厚い合板(厚物合板)を使用することで、床根太を省略し施工の合理化を図る工法が急速に普及している。厚物合板の強度性能に関する実験的研究が実施され、技術的資料が充実していることはその理由の一つであろう。一方、戦後植林された国内の針葉樹は今後伐採期を迎えるが、その有効な利用方法はいまだ実用化されていない。国産針葉樹材を厚物合板の原料として使用することが可能となれば、国産針葉樹材の有効利用法として新たな需要が創出できると考えられる。そこで本研究では、主要な国産針葉樹材を用いた厚物合板の曲げ性能を評価し、その実用性について検討した。また、構造用面材の断面寸法が曲げ性能に及ぼす影響について検討を行い、簡便で実施の容易な小試験体を用いた測定結果から実大性能を予測する方法を確立することを目的とした。さらに、構成要素の寸法・形状や断面構成法と曲げ性能の関係を定量化することで構造用面材の断面設計法を考案し、スギ等針葉樹材を原料とした高信頼性構造用面材の開発に資する。

#### イ 研究方法

(1) 国産針葉樹材3樹種(スギ:S、アカマツ:A、カラマツ:K)および外国産材3樹種(ラジアータパイン:RDP、ラーチ:LRC、ラワン:LAN)を原料とした厚さ3水準(24、28、35mm)の単一樹種・異樹種複合合板、計35種類の3×6(910×1820mm)板原板各8枚を供試した。各項目の試験体は各原板から1体ずつ採取した。供試した合板の仕様の一覧を表2-3-1に示す。

(2) 実大試験体曲げ試験：曲げスパン方向が表層単板の繊維方向と平行(0°方向)となるよ

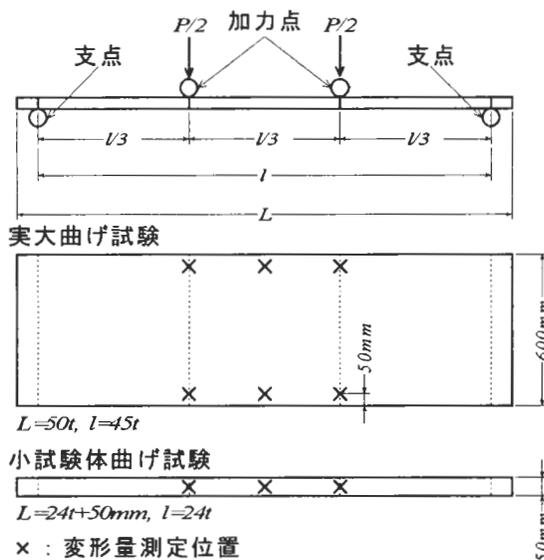


図 2-3-1. 曲げ試験方法詳

表 2-3-1. 供試合板の仕様一覧

	樹種	記号	公称	ply数
			厚さ (mm)	
外国産材 単一樹種	ラジアータパイン	RDP	24	9
			28	9
			35	11
	ラーチ	LRC	24	9
			28	11
			35	13
	ラワン	LAN	24	9
			28	11
			24	9
国産材 単一樹種	スギ	S	28	11
			28	11
			24	9
	スギ	S	28	9
			28	9
			24	11
	アカマツ	A	24	9
			28	11
			28	11
カラマツ	K	24	9	
		28	11	
		24	9	
国産材 利用 異樹種 複合	スギ- アカマツ	S-A	24	9
			28	11
			24	9
	スギ- ラジアータパイン	S-R	28	11
			24	9
			28	9
	スギ- ラーチ	S-L	28	13
			24	9
			28	11
アカマツ- ラジアータパイン	A-R	24	9	
		28	11	
		24	9	
ラーチ-アカマツ	L-A	24	9	
		28	11	

うに、幅 600mm×長さ 50t(t：公称厚さ)の実大試験体を採取した。合板の日本農林規格(JAS 規格)1級の試験方法<sup>1)</sup>に準じて、曲げスパン：45t、平均荷重速度：14.7MPa/minとして、3等分点4点曲げ試験を行った。

(3) 小試験体曲げ試験：曲げスパン方向が表層単板の繊維方向と平行および直交(90°方向)となるように、幅 50mm×長さ 24t+50mmの小試験体を、原板の実大試験体に隣接する部位から採取した。曲げスパン：24tとして、3等分点4点曲げ試験を行った。平均荷重速度は実大試験体曲げ試験と同様とした。

(4) 平行層理論に基づき構成単板の曲げ強度・曲げヤング係数を算出し、小試験体平行方向の単板の物性値を用いて直交方向の曲げ性能の予測を行った。さらに、各構成単板の曲げ性能値から単板構成を変化させた場合の合板の曲げ性能をシミュレーションし、要求性能を満たすための断面構成を導出した。

## ウ 結果

(1) 実大試験体による曲げ性能(曲げ強度：MOR、真の曲げヤング係数：MOE)の測定結果を表 2-3-2 に示す。表中の記号は構成単板の樹種を表す。異樹種複合合板については、構成単板の樹種を0°方向-90°方向の順で示した。同一の記号・厚さで複数の数値があるものは、単板構成(単板の積層数・厚さ)が異なる。

表 2-3-2. 実大試験体による曲げ性能

記号	厚さ (mm)	n	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	MOR(MPa)	MOE(GPa)	換算後	
						w(kN/m <sup>2</sup> )	$\delta$ (mm)
S	24	8	0.42 (0.0067)	22.5 (5.83)	5.70 (0.850)	20.9	2.45
		8	0.44 (0.015)	20.0 (2.52)	4.95 (0.450)	18.5	2.82
		8	0.41 (0.014)	20.1 (3.52)	4.58 (0.586)	18.7	3.05
	28	8	0.44 (0.018)	19.2 (3.34)	5.03 (0.779)	24.2	1.75
		8	0.48 (0.015)	20.9 (2.64)	5.39 (0.534)	26.3	1.63
		8	0.43 (0.018)	21.2 (2.68)	4.84 (0.332)	26.8	1.81
		8	0.42 (0.014)	24.3 (4.40)	4.90 (0.308)	30.6	1.79
		8	0.55 (0.035)	29.8 (2.56)	5.88 (0.946)	27.6	2.37
A	24	8	0.54 (0.020)	31.9 (4.81)	7.57 (0.467)	29.6	1.84
		8	0.53 (0.012)	28.2 (5.67)	7.80 (0.896)	35.6	1.13
	28	8	0.53 (0.0080)	33.2 (3.52)	7.86 (0.745)	41.8	1.12
K	24	8	0.55 (0.020)	27.1 (3.09)	6.22 (0.691)	25.1	2.24
	28	8	0.55 (0.014)	29.6 (5.20)	8.33 (0.995)	37.4	1.05
RDP	24	8	0.54 (0.0049)	31.8 (4.36)	5.94 (0.422)	29.5	2.35
	28	8	0.50 (0.011)	28.5 (3.51)	5.64 (0.825)	35.9	1.56
LRC	35	8	0.56 (0.016)	22.0 (2.57)	5.57 (0.716)	43.5	0.808
	24	8	0.59 (0.011)	38.4 (6.24)	9.19 (0.863)	35.6	1.52
		8	0.66 (0.023)	34.4 (3.41)	9.06 (0.442)	43.4	0.970
LAN	28	8	0.68 (0.012)	34.8 (5.84)	9.60 (1.08)	68.7	0.468
		8	0.56 (0.017)	45.0 (3.41)	8.05 (0.412)	41.7	1.73
	24	8	0.48 (0.037)	28.1 (4.07)	5.64 (0.660)	35.5	1.56
S-A	24	8	0.44 (0.0076)	19.8 (2.50)	5.22 (0.421)	18.3	2.67
	28	8	0.46 (0.012)	21.8 (1.22)	5.82 (0.513)	27.5	1.51
S-R	24	8	0.48 (0.020)	20.4 (3.30)	5.72 (0.503)	18.9	2.44
		8	0.45 (0.0067)	22.8 (4.32)	5.32 (0.580)	21.2	2.62
	28	8	0.49 (0.0086)	22.2 (2.03)	5.39 (0.331)	28.0	1.63
		8	0.52 (0.024)	27.8 (2.81)	6.49 (0.451)	35.1	1.35
		8	0.45 (0.020)	19.9 (2.40)	4.39 (0.511)	25.2	2.00
S-L	24	8	0.54 (0.020)	20.7 (3.31)	5.74 (0.543)	19.2	2.43
		8	0.55 (0.020)	16.9 (2.95)	4.58 (0.454)	21.4	1.92
	28	8	0.65 (0.022)	34.7 (4.20)	7.03 (0.529)	43.8	1.25
A-R	24	8	0.56 (0.012)	41.1 (7.60)	10.3 (1.14)	38.2	1.35
	28	8	0.54 (0.012)	27.8 (4.12)	7.45 (0.760)	35.1	1.18
L-A	24	8	0.60 (0.011)	39.5 (5.21)	10.9 (0.605)	36.6	1.28
	28	8	0.60 (0.021)	43.1 (4.62)	10.4 (0.563)	54.4	0.846

かっこ内の数値は標準偏差を表す。

(2) 小試験体による曲げ性能の測定結果を表 2-3-3 に示す。

エ 考察

(1) 単一樹種合板では、全ての合板が JAS 規格の構造用合板 2 級の基準値 ( $t \geq 24\text{mm}$ 、 $\text{MOE} : 3.5\text{GPa}$ ) を満たしていた。また、構造用合板 1 級 (E50-F160) の基準値 ( $\text{MOR} : 16.0\text{MPa}$ 、 $\text{MOE} : 5.0\text{GPa}$ ) を満たすものも多く見られた。アカマツ・カラマツ・ラーチ・ラワンの曲げ性能は基準値を大きく上回っており、スギはそれらと比較すると低い曲げ性能を示した。異樹種複合合板は、単一樹種合板と同程度の曲げ性能を示した。 $0^\circ$  方向単板が同じ樹種の場合、 $90^\circ$  方向単板の樹種に関係なく曲げ性能はほぼ同じ値となった。

厚さによる曲げ性能の差異を比較すると、厚さが増加するにつれて  $\text{MOR} \cdot \text{MOE}$  とともに低下するものが見られた。そこで、実際使用時の条件 (曲げスパン :  $910\text{mm}$ 、試験体幅 :  $910\text{mm}$ 、等分布荷重) 下で破壊荷重 ( $1\text{m}^2$  あたりに換算) と曲げ変形量 (荷重  $1.8\text{kN/m}^2$  時) を算出した (表中の換算後  $w \cdot \delta$ )。すべての合板の曲げ変形量は曲げスパンの  $1/300$  より小さかった。厚さが増加すると、全ての合板で破壊荷重は増大し、曲げ変形量は減少する傾向が見られたため、厚さが増すほど耐荷重性能・耐変形性能は向上していることがわかった。

(2) 小試験体  $0^\circ$  方向の曲げ性能は、単一樹種・異樹種複合合板ともに実大試験体曲げ性能と同様の傾向を示し、両者には相関が見られた (図 2-3-2)。実大試験体曲げ性能と比較すると、 $\text{MOR}$  は概ね同様の数値を示した。 $\text{MOE}$  はほぼ一致し、有意な差は見られなかった (危険率 5%)。

小試験体  $90^\circ$  方向の曲げ性能は、全ての合板が E50-F160 の基準値 ( $\text{MOR} : 5.0\text{MPa}$ 、 $\text{MOE} : 0.4\text{GPa}$ ) を十分満たしていた。実大試験体と同一の条件で破壊荷重・曲げ変形量を算出すると、 $0^\circ$  方向 (実大試験体) と同程度の値となったため、断面係数・断面 2 次モーメントの大きい厚物合板においては耐力・剛性の異方性が低いことがわかった。

(3) 各合板の曲げ性能から算出される単板の曲げ性能は樹種毎にほぼ一定の値となり、構成単板の物性値を用いて合板の曲げ性能が算出可能であると予測された。曲げ性能の算出には、合板

表 2-3-3. 小試験体による曲げ性能

記号	厚さ (mm)	n	$\rho(\text{g/cm}^3)$	MOR(MPa)	MOE(GPa)	
S	24	8	0.41 (0.0074)	26.3 (6.49)	4.82 (0.860)	
		8	0.43 (0.011)	20.3 (3.62)	4.26 (0.485)	
		8	0.41 (0.012)	20.1 (2.30)	3.76 (0.772)	
	28	8	0.43 (0.015)	20.6 (4.82)	4.50 (0.558)	
		8	0.41 (0.012)	17.5 (2.73)	3.91 (0.501)	
		8	0.42 (0.024)	19.5 (3.32)	4.57 (0.567)	
A	24	8	0.42 (0.016)	26.7 (5.71)	4.77 (0.387)	
		8	0.54 (0.012)	44.5 (6.19)	8.69 (0.580)	
		8	0.55 (0.016)	34.5 (3.65)	7.90 (0.500)	
	28	8	0.53 (0.010)	31.3 (4.05)	6.55 (0.853)	
		8	0.53 (0.012)	32.3 (7.59)	7.78 (1.06)	
		8	0.55 (0.020)	27.2 (4.61)	6.22 (1.27)	
K	24	8	0.55 (0.015)	31.1 (8.72)	8.32 (1.15)	
		8	0.54 (0.0049)	39.1 (4.72)	5.67 (0.799)	
		8	0.50 (0.011)	33.9 (4.23)	5.90 (0.635)	
	35	8	0.56 (0.016)	22.3 (4.42)	4.96 (0.679)	
		8	0.59 (0.011)	33.2 (6.82)	6.71 (1.32)	
		8	0.66 (0.023)	35.0 (5.60)	8.75 (0.567)	
LRC	28	8	0.68 (0.012)	38.2 (7.99)	9.28 (1.84)	
		8	0.56 (0.017)	46.5 (3.57)	7.66 (0.400)	
		8	0.48 (0.037)	32.5 (6.99)	5.90 (0.902)	
	S-A	24	8	0.44 (0.014)	20.6 (5.68)	5.01 (0.480)
		8	0.46 (0.012)	23.2 (4.16)	5.15 (0.449)	
		8	0.47 (0.025)	25.2 (3.71)	5.32 (0.639)	
S-RDP	24	8	0.44 (0.0059)	27.2 (3.34)	5.07 (0.349)	
		8	0.48 (0.014)	23.8 (3.70)	5.34 (0.490)	
		8	0.52 (0.023)	31.2 (3.27)	6.35 (0.549)	
	28	8	0.44 (0.018)	21.9 (2.37)	4.00 (0.767)	
		8	0.54 (0.029)	24.4 (5.71)	5.02 (0.387)	
		8	0.54 (0.016)	17.9 (2.18)	3.98 (0.694)	
LRC	28	8	0.65 (0.022)	38.0 (5.97)	6.85 (0.747)	
		8	0.54 (0.015)	40.4 (5.25)	5.03 (0.803)	
		8	0.55 (0.013)	33.1 (7.63)	6.86 (1.05)	
	RDP	24	8	0.60 (0.019)	47.1 (11.3)	9.35 (0.951)
		8	0.62 (0.020)	37.2 (8.04)	8.00 (1.76)	
		8	0.60 (0.019)	47.1 (11.3)	9.35 (0.951)	

かつこ内の数値は標準偏差を表す。

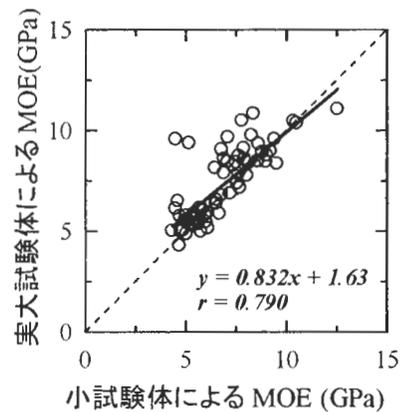


図 2-3-2. 試験体寸法による MOE の比較

のような異方性積層材料においても、断面の外形寸法による見かけの断面 2 次モーメント ( $I_{ap}$ ) を用いる。実際には、単板の強度性能は繊維方向に比べて繊維直交方向では極めて低いため、曲げスパン方向と繊維方向が一致する単板のみが有効に曲げ応力を負担すると考えられる。すなわち、

$$I_{ap} = I_{e//} + I_{e\perp}$$

が成り立つ。ここで、 $I_{e//}$ ：平行方向試験体の有効な断面 2 次モーメント、 $I_{e\perp}$ ：直交方向試験体の有効な断面 2 次モーメントである。

有効な断面が同一樹種の単板のみからなる場合、単板の繊維方向の MOE ( $E_{v//}$ ) と  $I_{ap}$  を用いて算出した平行方向試験体の MOE ( $E_{ap//}$ )・直交方向試験体の MOE ( $E_{ap\perp}$ ) に関して、

$$E_{ap//} \cdot I_{ap} = E_{v//} \cdot I_{e//}, \quad E_{ap\perp} \cdot I_{ap} = E_{v//} \cdot I_{e\perp}$$

が成り立つ。よって、 $E_{ap\perp}$  は、

$$E_{ap\perp} = E_{ap//} \cdot (I_{ap} - I_{e//}) / I_{e\perp}$$

で表され、平行方向の MOE より直交方向の MOE を算出することができる。

同様に、有効な断面が同一樹種の単板のみからなる場合、縁応力度が有効な最外層単板の強度を超えたときに材料の破壊が生じると仮定し、単板の繊維方向の MOR ( $\sigma_{v//}$ ) と  $I_{ap}$  を用いて算出した平行方向試験体の MOR ( $\sigma_{ap//}$ )・直交方向試験体の MOR ( $\sigma_{ap\perp}$ ) に関して、

$$\sigma_{ap//} \cdot I_{ap} = \sigma_{v//} \cdot I_{e//}, \quad \sigma_{ap\perp} \cdot I_{ap} / y_{e//} = \sigma_{v//} \cdot I_{e\perp} / y_{e\perp}$$

が成り立つ。ここで、 $y_{e//}$ ：平行方向試験体の有効な断面の縁距離、 $y_{e\perp}$ ：直交方向試験体の有効な断面の縁距離である。

上式より  $\sigma_{ap\perp}$  は、

$$\sigma_{ap\perp} = \sigma_{ap//} \cdot (I_{ap} - I_{e//}) \cdot y_{e//} / (I_{e\perp} \cdot y_{e\perp})$$

で表され、平行方向の MOR より直交方向の MOR を算出することができる。

測定した合板の曲げ性能から、有効断面の縁距離を有効な最外層単板の中心と中立軸の距離として構成単板繊維方向の MOE・MOR を算出した。さらに、直交方向試験体の MOE・MOR の予測を試みた。なお、S-R の直交方向において有効な単板はスギのみであるため、その予測に関しては S の平行方向から算出した単板の曲げ性能を用いることとした。

小試験体平行方向の単板の MOE を用いて小試験体直交方向の見かけの MOE を計算すると (図 2-3-3)、計算値と実測値には有意差が見られず (危険率 5%)、高い相関を示したため、平行層理論の妥当性が確認された。小試験体平行方向の単板の MOR を用いて小試験体直交方向の見かけの MOR を計算すると (図 2-3-4)、RDP のみ計算値の方が高かったものの (危険率 5%)、両者には正の相関が見られた。両数値のバラツキの原因としては、節等の欠点の影響における寸法効果と表層および内層の単板等級による強度差の影響が考えられる。

(3) 本研究で供試した厚物合板は JAS 規格基準値に適合する曲げ性能を示したが、使用されている単板樹種により、その値には差異が見られた。原料の特性によらず、製品の性能を一定の水準に保つためには、適切な断面設計を行う必要がある。たとえば、 $0^\circ$  方向単板の厚さを増加させることで、合板の  $0^\circ$  方向の曲げ性能を向上させることができると期待される。そこで、平行層理論に基づき、単板構成を変化させた場合の MOE を算出した。図 2-3-5 は、もっとも主要な樹種であるスギの単一樹種合板 ( $t$ : 24mm、MOE: 4.58GPa) に関する計算結果である。まず、供試した合板の単板構成から有効断面 2 次モーメント比 (0.558) を算出し、単板の MOE (8.21 GPa) を求めた。次に、表層単板のみの厚さを増加させた場合と  $0^\circ$  方向全単板の厚さを増加させた場合 ( $0^\circ$  方向

単板を等厚と仮定)の2つの場合について、有効な断面2次モーメントと単板のMOEを用いて、合板の0°方向のMOEを算出した。図を見ると、単板の厚さが増加するにしたがってMOEは高くなっている。MOE向上の効果は、0°方向全単板の厚さを増加させた場合

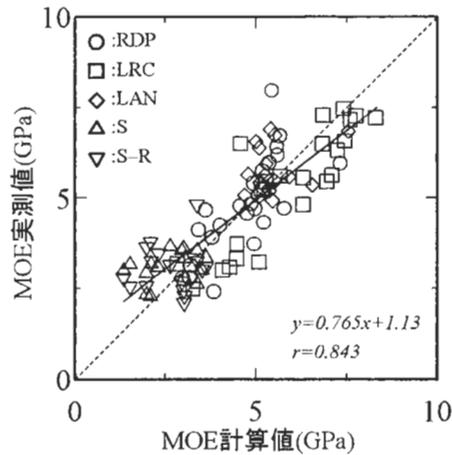


図 2-3-3. 直交方向 MOE の予測

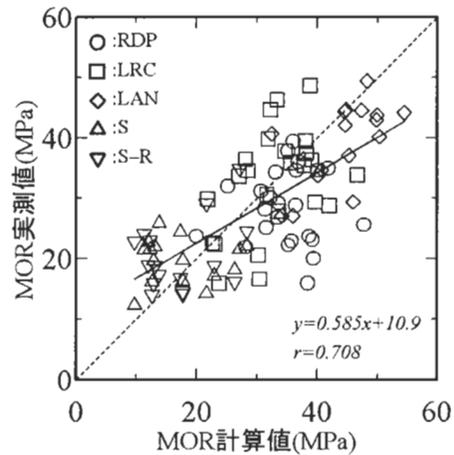


図 2-3-4. 直交方向 MOR の予測

の方が高い。単板厚さを変化させても合板のMOEの変動係数が一定であると仮定すると、表層単板厚さのみを増加させた場合には4.5mm程度、0°方向全単板の厚さを増加させた場合には3.5mm程度でJAS規格1級(E50-F160)の基準値を上回る結果が得られた。0°方向全単板を等厚とする方法は、製造工程の簡略化にもつながるため、適した方法であると考えられる。他の樹種についても同様の計算を行うことで、要求される性能を満たすための断面設計が可能である。

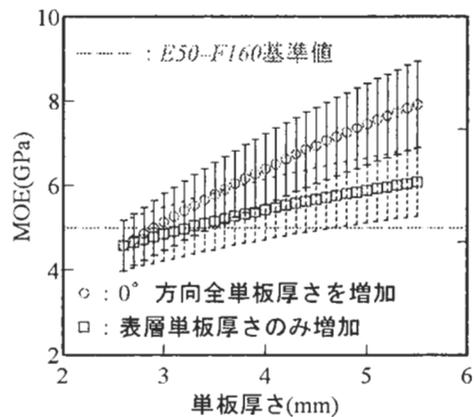


図 2-3-5. 単板厚さと MOE の関係

オ 今後の問題点  
特になし。

カ 要約

床下地に使用することを目的とした国産針葉樹材を用いた厚物構造用合板の曲げ性能を評価した。試験体の断面寸法が曲げ性能に及ぼす影響について検討し、構成単板の物性値と単板構成から曲げ性能を予測する簡便な評価法を確立した。さらに、曲げ性能を向上させるため、構成単板の物性値を用いて単板構成を変化させた場合の曲げ性能をシミュレーションし、要求性能を満たすための断面構成を導出した。

キ 引用文献

1) (2003) “合板の日本農林規格”, 平成15年2月27日農林水産省告示第233号。

(渋沢龍也)

# 第3章 スギ材等針葉樹材による高信頼性構造用材の実用促進 技術の開発調査

## 1. 木質新素材を接着接合した建築用部品の強度及び耐久性評価技術の 開発調査

### ア 研究目的

木材と異種材料とを積層・複合した材料開発を効率よく行うために、より信頼性の高い接着評価法の開発とより汎用性の高い材料設計技術を明らかにする必要がある。そこで、木材とFRPとを積層接着して製造される木質ハイブリッド材の接着耐久性を試験評価する手法について、3種類の試験を行って検討した。

### イ 研究方法

**試験1** 試験体Aに促進劣化処理1および2を施した後、接着はく離長さを測定した。その後ブロックせん断試験体を切り出し約2ヶ月間20°C60%恒温恒湿室で調湿し、ブロックせん断強さと木破率を測定した。ブロックせん断試験体は、接着面積：25mm×25mm、イス型とした。

**試験2** 試験体Bより接着面積が20×20、20×40、20×60、40×20、40×40、40×60、60×60（単位：mm）のブロックせん断試験体を作製した。これらに接着劣化促進処理（処理3、処理5、処理3）を施した後、ブロックせん断試験を行ってブロックせん断力および木破率を測定した。各条件毎の試験体数は4体とした。

**試験3** 試験体Cに対して接着劣化促進処理（処理3、処理4、処理5、処理6）を施した後、ブロックせん断力および木破率を測定した。試験体数は、コントロール36体、促進処理条件毎に24体とした。

**試験体** **試験体A** 炭素繊維複合強化集成材<sup>1, 2)</sup>；東邦レーヨン、長野県林業技術センターなどの共同研究により開発されている（スギラミナ：30mm 10層、炭素繊維（CF）硬化シート12枚をレゾルシノール系樹脂接着剤（PRF）を用いて、コールドプレスにて常温硬化させたもの）。寸法140mm（幅）×70mm（厚）×長さ75mmで片面に炭素繊維シートが接着されている。

**試験体B** FRPをベイマツラミナ2枚でサンドイッチした3層複合積層材をフェノール・レゾルシノール供縮合樹脂接着剤を用いて4体作製した。ベイマツひき板の寸法は、30mm（厚さ）×150mm（幅）×600mm（長さ）とし、容積密度が同じものを組み合わせた。容積密度は、500kgf/cm<sup>2</sup>、570kgf/cm<sup>2</sup>、620kgf/cm<sup>2</sup>、730kgf/cm<sup>2</sup>であった。FRPの厚さは2mm、寸法はひき板と同じとした。FRPの表面をサンドペーパー（＃100）を用いて研削するとともに、研削屑をメチルエチルケトン（MEK）で拭き取った。接着剤には大鹿振興製D-33を使用し、所定の硬化剤15部と充填剤10部を加えてよく攪拌した後、1接着層あたり300g/m<sup>2</sup>の塗布量になるようハンドローラーで両面塗布した。接着剤の硬化にはホットプレスを用いて、熱盤温度30°C、圧縮圧力10kgf/cm<sup>2</sup>の条件下で24時間圧縮した。作製した木材-FRP複合材から、接着面積が20×20、20×40、20×60、40×20、40×40、40×60、60×60（単位：mm）のブロックせ

ん断試験体を作製した。これらに後述する接着劣化促進処理（処理 1、処理 5、処理 3）を施した後、ブロックせん断試験を行ってブロックせん断力および木破率を測定した。試験体数は、各条件 4 体とした。

試験体 C カラマツ集成材と FRP を常温硬化型エポキシ樹脂接着剤を用いて接着した木材－FRP 複合材から、接着面積が 25×25（単位：mm）のブロックせん断試験体を作製した。複合材は FRP 挿入ガセット接着接合用試験体として 1992 年に製造したもので森林総合研究所の空調の無い実験棟内にて約 10 年間保管していたものである。ガセット接着接合部の製造にあたっては、まず帯鋸を用いてカラマツ集成材に幅 3 mm のスリットを切削した。これにサンダーによる表面研削と MEK による研削屑を除去した厚さ 2mm の FRP 板を挿入し、常温硬化型エポキシ樹脂接着剤：DEVCON 製 NIDEK603 を隙間に充填して接着した。これより接着面寸法 25mm×25mm のブロックせん断試験体を作製し、これらに後述する接着劣化促進処理（処理 1、処理 5、処理 3、処理 4）を施した後、ブロックせん断試験を行ってブロックせん断力および木破率を測定した。試験体数は、コントロールを 36 体、促進処理条件毎に 24 体とした。

#### 促進劣化処理条件

処理 1（国土交通省告示 1446 号，木質形成軸材料の接着の劣化に係わる試験） a ) 49±2℃ 温水：1 時間、b ) 93±3℃ 蒸気：3 時間、c ) -12℃±3℃：20 時間、d ) 99±2℃：3 時間、e ) 93±3℃ 蒸気：3 時間、f ) 99±2℃：18 時間、以上を 1 サイクルとして 6 サイクル。

処理 2（構造用集成材 JAS 減圧加圧試験） a ) 減圧 635mmHg：5 分、b ) 加圧 5kgf/cm<sup>2</sup>：1 時間、c ) a )、b ) を +1 サイクル、d ) 70±3℃：24 時間以上 以上を 1 サイクルとして 2 サイクル。

処理 3 浸せき @20℃, 24 時間+乾燥 @20℃65%RH（元重まで）

処理 4 浸せき @60℃, 24 時間+乾燥 @60℃（元重まで）+調湿 @20℃65%RH,

処理 5 浸せき @20℃, 24 時間+乾燥 @60℃（元重まで）+調湿 @20℃65%RH+浸せき @90℃, 24 時間+乾燥 @60℃（元重まで）+調湿 @20℃65%RH,

処理 6 減圧 @50℃, 635mmHg, 5 分+加圧 @50℃, 5kgf/cm<sup>2</sup>, 1 時間 + 乾燥 @20℃65%RH（元重まで）+ 減圧 @20℃, 635mmHg, 5 分+加圧 @20℃, 5kgf/cm<sup>2</sup>, 1 時間+ - 12℃, 24 時間 → 乾燥 @60℃（元重まで）+調湿 @20℃65%RH

#### ウ 結果

① 試験 1 のはく離試験結果を図 3-1-1、ブロックせん断試験結果を表 3-1-1 に示す。告示 1446 号に規定される促進処理は、木材の接着に対しては JAS 減圧加圧処理と同等もしくはそれ以下の厳しさであると推定された。一方で CF シート積層部の接着に対しては厳しく作用し、処理回数の増加とともにはく離率も増加した。CF シート－木材間の接着は良好であった。これらのことから様々な使用環境における利用が想定される場合、異種材料複合材の接着耐久性試験には処理 1（告示 1446 号）のような寒熱処理が必要であると考えられた。

表 3-1-1 各種促進処理による木材-CF シートの接着性能の低下

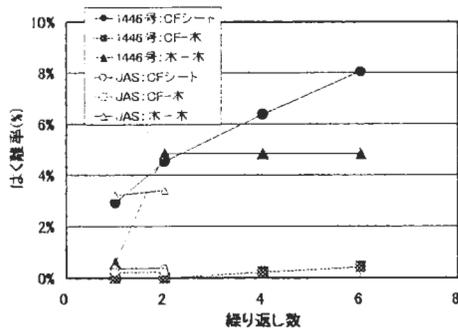


図 3-1-1 促進処理繰返しによるはく離率の推移

② 試験 2 の結果に基づいて、試験体の接着面積がブロックせん断試験結果に与える影響について各条件の試験体数が 4 個と少ないため平均値を図 3-1-2 にまとめて示す。

まず、これまでの木材のブロックせん断試験に関する研究報告によれば、せん断面積がせん断強さに影響を与えることが知られているが、コントロールにおけるせん断寸法とブロックせん断強さの間にあまり明確な傾向は見られなかった。今回の結果が、複合材に特有なものか、あるいは試験体数の少なさなど実験要因に起因するかは今後検討する必要がある。

これに対して、促進劣化処理（処理 3、処理 4、処理 5）其々における接着面積とせん断強さあるいは処理材とコントロールとのせん断強さの比率との関係を見ると、せん断面積が大きいほど促進処理の影響を大きく受けてせん断強さが低くなる傾向があった。

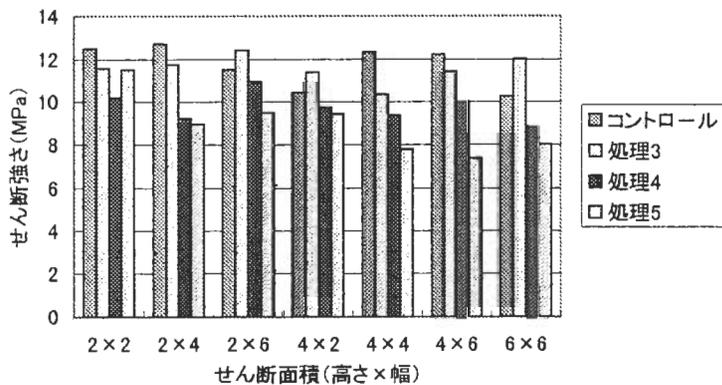


図 3-1-2 各種促進処理によるせん断強さの低下にせん断面積・形状が与える影響

処理条件	コントロール		処理 2 J A S		処理 1 告示 1446 号	
	木-木	CF-木	木-木	CF-木	木-木	CF-木
対象接着層	木-木	CF-木	木-木	CF-木	木-木	CF-木
平均値(MPa)	8.18	7.89	6.03	7.62	5.78	7.11
標準偏差(MPa)	1.32	0.97	1.61	0.95	2.23	1.64
変動係数(%)	16.2	12.3	26.7	12.5	38.6	23.0

③ 試験3の試験結果を図3-1-3に示す。処理3は、木材-木材の接着に対する促進劣化の効果は低い、木材-FRPの接着に対しては効果が認められた。処理3と処理5の比較から、PRFによる木材接着および木材-FRP接着では処理温度の上昇による接着性能の低下が認められたが、EPによる木材-FRP接着では顕著な低下は認められなかった。処理5によりPRFによる木材接着および木材-FRP接着ともにブロックせん断強さが最も低下する一方で木破率の上昇が認められたが、EPによる木材-FRP接着ではせん断強さと木破率両方の低下が認められた。EP(試験体C)では処理6によりブロックせん断強さが最も低下するとともに木破率の低下が認められたが、PRF(試験体B)では、せん断強さ、木破率ともにその低下は小さかった。木材-木材の接着で生じたせん断強さの低下は主として平均値の低下として表れたが下限値(例えば最低値)の低下はなかった。これに対して、木材-FRPの接着ではせん断強さの低下は平均値でも最低値でも生じた。図3-1-3に示すように、促進処理後のブロックせん断強さは、比較的緩やかな促進条件にもかかわらず平均値で約15%ほど低下した。

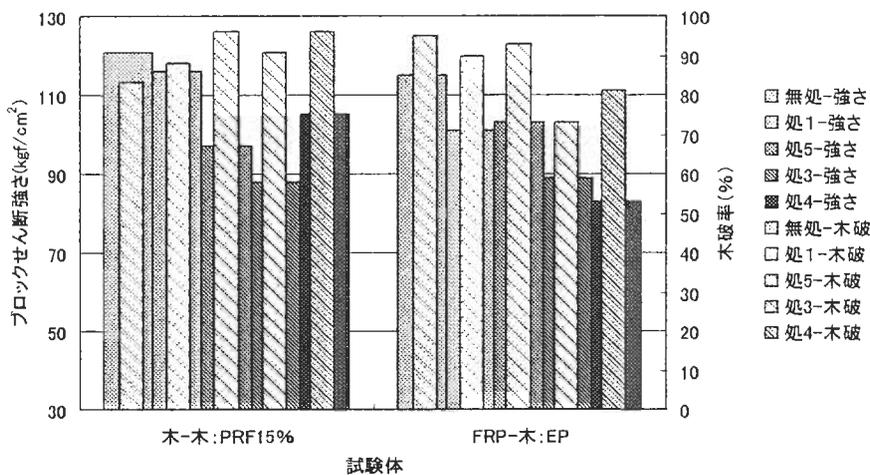


図3-1-3 各種促進処理による木材-FRPの接着性能の低下

エ 考察

① ブロックせん断試験体の寸法について

ブロックせん断強さは、微小領域*i*における接着力 $\tau_i$ とブロックせん断試験時にその領域に生じる応力集中の度合いを示す $SC_i$ の積を積分し接着面積*A*で除したもので表されると仮定すると次式のようなになる。

$$\text{せん断強さ} = \frac{\int \tau_i SC_i dA}{A}$$

通常の状態では、 $\tau_i$ は試験体内では一定もしくはある分布を持っていると仮定できる。また、 $SC_i$ については有限要素法等を用いれば算出することができる。これらの値が促進処理の影響でどのように変化するかを知ることができれば、接着耐久性の予測のための手がかりが一つ増えることになると思われる。ここで、接着力の劣化の係数を  $f_d$ 、応力集中の変化の係数を  $f_c$  とすると先の式は

$$\text{せん断強さ} = \frac{\int \tau_i f d_i \times SC_i f c_i dA}{A}$$

となる。f d<sub>i</sub>を定めるには、促進処理の影響が接着面内のどの範囲にどのように生じるかを知る必要がある。また、f c<sub>i</sub>は、促進処理による関連の諸物性値・特に弾性係数の変化がどのように生じるかを確認の上、有限要素法で解析する必要がある。

## ②試験方法について

図 3-1-4 に異種材料複合接着製品の性能試験の体系を提案する。

異種材料複合材の接着性能試験

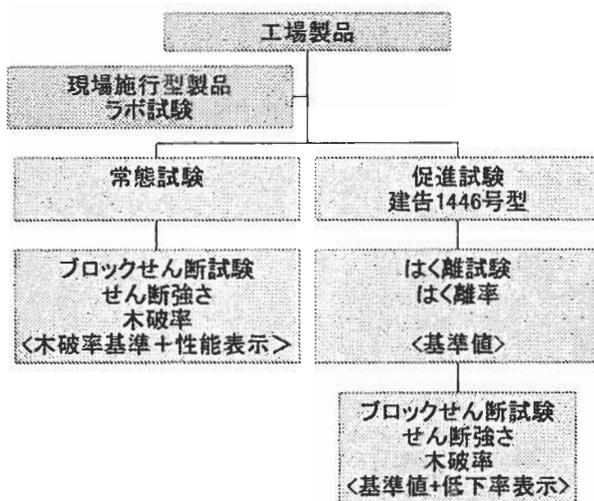


図 3-1-4 異種材料複合接着製品の性能試験

## オ 今後の問題点

小試験体による試験のみにて最終製品の接着性能の合否判定するのはむづかしい。所定の寸法の試験体に促進処理を加えた後ブロックせん断試験片を切り出して試験するのか、ブロックせん断試験片を作製した後促進処理を行って試験するのかは検討が必要である。また、繰返し処理試験などを行って劣化の進行速度を明らかにするとともに、実使用条件下での接着層への環境負荷も定量化する必要がある。

## カ 要約

より信頼性の高い接着評価法の開発とより汎用性の高い材料設計技術を開発するために、木材とFRPとを積層接着して製造される木質ハイブリッド材の接着耐久性を行って検討した。

その結果、ブロックせん断試験を行う際の試験体寸法・接着面積は、大きいほど促進劣化処理による接着性能の低下が大きくなり、接着層への負荷が大きくなる傾向があることから、接着面積 40mm×40mm程度の試験体を用いたブロックせん断試験結果を行なうのがよいと考えられた。また、接着性能の評価にあたっては、せん断強さと木破率を併用するのがよい。

また、異種材料複合材の促進劣化試験には、告示 1446 号のような寒熱処理が必要であると考えられた。ただし、この処理は困難なので簡便な寒熱繰返し処理方法を定めるか、このような試

験は初期試験における接着剤等の特性把握にのみ適用して品質管理には別の（JAS 的）方法を採用する方法が望ましい。

キ 引用文献

- 1) 遠藤善博, 他 8 名 (2000) 第 50 回日本木材学会大会研究発表要旨集、131
- 2) 橋爪丈夫, 他 7 名 (2000) 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東北)、233-234
- 3) 宮武敦, 藤井毅 (1995) 木材学会誌, Vol.41 (4)、380-386

(宮武敦、平松靖、藤井毅)

## 2. 新在来工法用特殊金物の強度発現機構の調査

### ア 研究目的

新在来工法である金物工法の特徴は、従来型の複雑な仕口・継手加工を施さず、簡単な孔あけやスリット加工と特殊な形態の構造金物を用いて主要軸組を構成することにある。またそこに用いられる接合金物の特徴としては、金物がなければ架構が成立しない、すなわち金物が常に大きな荷重を負担していることがあげられる。このため、従来型よりその金物の品質や強度特性が一層重視されなければならないが、種類が多種多様であり、またその認定が個別的な取り扱いを受けてきたため、強度発現機構や最適形状に関する系統だった検討が行われていない。

そこで本研究では、まず多種多様な特殊金物に関する資料を収集し、その形態上の特徴、強度発現機構、施工性等についての分類・整理を行い、ついで、金物工法のトラス用軸材としてスギを使用することの可能性について検討し、さらに3種類の梁受け金物について実大せん断強度試験を行った。

### イ 研究方法

1) 既往の関連文献や各社の技術資料などを収集し、わが国で生産されている多種多様な特殊金物の生産状態を調査した。ついで、これらの資料を基にその形態上の特徴、強度発現機構、施工性等についての分類・整理を行った。

2) メタルプレートコネクタ（MPC）を用いたスギ材の継手について引張試験を行い、その強度特性について検討した。また比較のために、北米産SPF、北欧産ホワイトウッドについても同様の試験を行った。

3) 数種類に分類される金物の中から2種類（K金物、H金物：いずれも商品名）を選び出し、構造用集成材を用いた実大接合試験体によって、その強度発現機構を検討した。なお、試験体の梁に用いる構造用集成材としては、外層ラミナにベイマツ、内層ラミナにスギを配した「異樹種複合集成材」を用いた。

### ウ 結果

1) 金物工法用接合金物の生産状態を調査した結果、わが国には30数種類の金物工法システムがあり、そのうち、金物工法を推進してきた財団法人住宅・木材技術センターの合理化システム認定事業には10数種類の金物が存在すること、また、供給された木造住宅の戸数については、統計量は推測の域を出ないものの、日本全体で2～3万戸程度（1999年当時）であることが明らかになった。

2) 金物の供給形態としては、フランチャイズを中心としたクローズドシステム、および誰もが使えるようなオープンシステムが存在すること、また接合システムの分類としては、使用部位による分類（柱受け、梁受け、筋違い、柱脚など）と形態による分類（鋼板挿入型、引きボルト型、ボックス金物型、特殊鋳物型、接着併用型）があることが明らかになった。

3) 使用部位による分類のうち、金物工法を最も特徴づけているのは梁受けの金物である。梁受け金物の形態を図3-2-1に、分類表を表3-2-1に示す。この表からわかるように、いずれにしても一長一短があり、現状では標準的なものは存在しない。

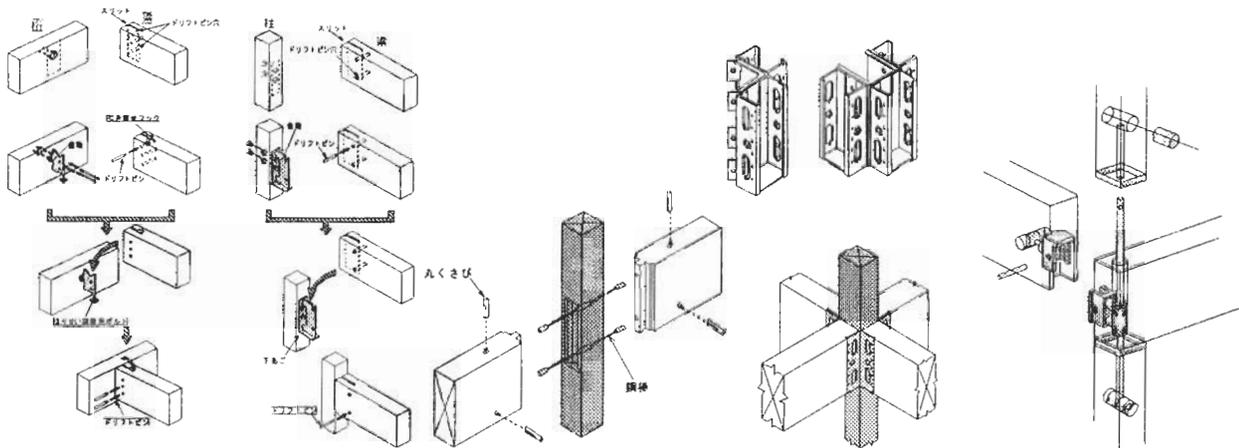


図3-2-1 梁受け金物の種類(左から鋼板挿入型2種、引きボルト型、ボックス金物型、特殊鋳物型)

表3-2-1 各接合形式の特徴

	鋼板挿入型	引きボルト型	ボックス金物型	特殊鋳物型
力学的特性	高い耐力は得られるが、梁に打ち込むピン・ボルトが梁の割裂を生む。	高い回転性が得られ、材の割裂を生じさせない。座金のめり込みによる粘りのある変形特性。	高いモーメント抵抗性は得られない。	個々の金物により特性が異なる。
施工性	良い。	悪い。	良い。	同上
金物の施工しやすさ	単純で加工は容易。	ボルトのみで良い。	単純で加工は容易。	複雑で高い寸法精度が必要。
金物の表面露出	アゴをのぞくと金物はほぼ梁の内側に納まる。	ほとんど外側には表れない。	梁端部で表に露出する	個々の金物により特性が異なる。

4) メタルプレートコネクターを用いたスギの継手について引張試験を行って基本的な強度性能を検討し、ついでスパンが 6460mm、高さ 1111mm の実大トラスの設計を行い、その強度試験を行った。継手の引張試験(表 3-2-2)の結果、スギ継手の強度は現在トラスに使用されている北米産 S P F (Spruce-Pine-Fir) や北欧産ホワイトウッドの 1~2 割減程度の値となり、破壊までのねばりも若干低めの傾向を示した。しかし、トラスにした場合に問題となるような不具合は認められなかった。3 体行った実大トラスの試験では、設計荷重から計算した長期の破壊荷重の 4~6 倍の値で破壊が生じた。また、スパン中央でのたわみの量も通常の計算手法によって算出できることが確認された。このように、幅広い品質を有するスギでも、一定の仕分けをすることによりメタルガセットトラスの部材として活用できることが実証された。

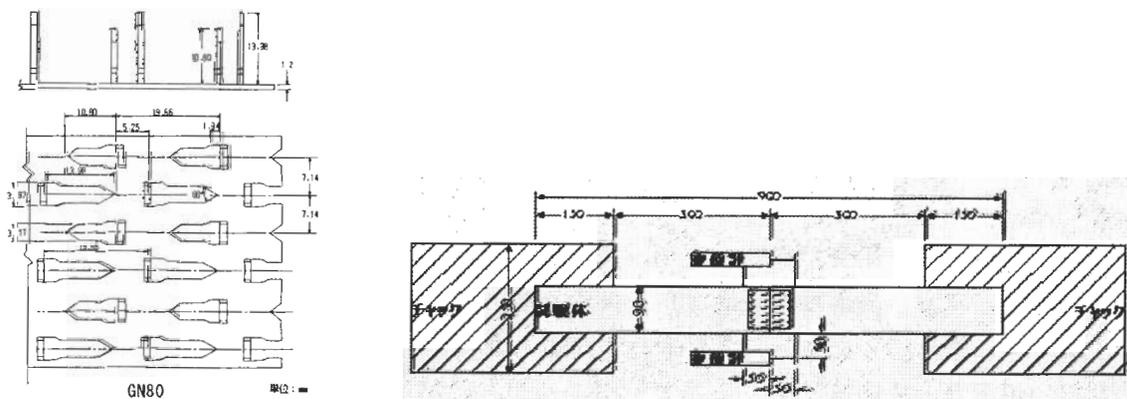


図3-2-2 メタルプレートコネクター(左)と引張試験体(右)

表3-2-2 メタルプレートコネクターを用いた継手の引張試験結果の一覧

すぎ	メタルプレート条件	最大荷重(tf)				最大荷重時変位(mm)				0.76mm変位時荷重(tf)			
		NP	NC	QP	QC	NP	NC	QP	QC	NP	NC	QP	QC
	平均値	1.70	1.33	1.56	0.99	2.54	1.67	1.17	1.49	1.20	1.14	1.42	0.86
	標準偏差	0.201	0.175	0.183	0.106	0.739	0.231	0.223	0.207	0.111	0.151	0.154	0.112
	変動係数	11.8%	13.1%	11.7%	10.7%	29.1%	13.9%	19.1%	13.9%	9.3%	13.2%	10.8%	13.1%
SPF	メタルプレート条件	NP	NC	QP	QC	NP	NC	QP	QC	NP	NC	QP	QC
	平均値	2.00	1.55	2.00	1.09	3.62	1.47	0.97	1.15	1.45	1.40	1.92	1.02
	標準偏差	0.127	0.112	0.156	0.102	0.638	0.229	0.14	0.165	0.085	0.088	0.119	0.09
	変動係数	6.4%	7.2%	7.8%	9.3%	17.6%	15.5%	14.4%	14.3%	5.9%	6.3%	6.2%	8.8%
White Wood	メタルプレート条件	NP	NC	QP	QC	NP	NC	QP	QC	NP	NC	QP	QC
	平均値	1.89	1.50	1.96	1.11	3.94	1.70	1.16	1.31	1.36	1.31	1.82	1.02
	標準偏差	0.143	0.11	0.137	0.098	0.808	0.248	0.183	0.179	0.088	0.087	0.095	0.091
	変動係数	7.6%	7.3%	7.0%	8.8%	20.5%	14.6%	15.8%	13.6%	6.5%	6.7%	5.2%	8.9%

5) 実大試験体(図3-2-3)を用いて行った梁受け金物のせん断試験の荷重-変形曲線を図3-2-4に示す。

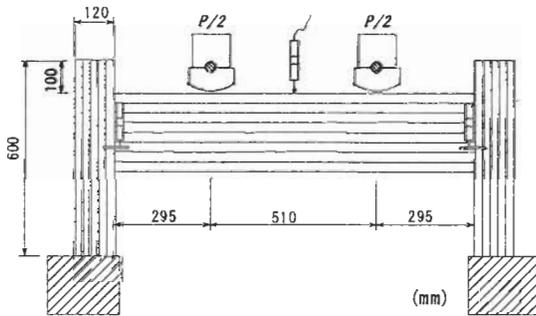


図3-2-3 実大接合試験体

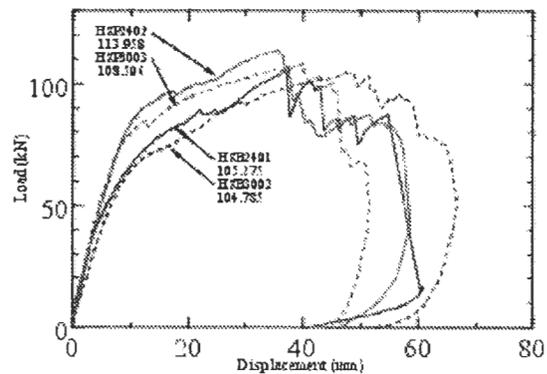


図3-2-4 荷重-変形曲線の一例

図3-2-4からも明らかなように、いずれの曲線も典型的な金物接合の荷重-変形関係を示している。

表3-2-3に金物一個あたりの最大荷重と初期剛性値を示す。異樹種の最大荷重および初期剛性はいずれの場合もスギとベイマツの中間的な値を示している。最大荷重、初期剛性共にH社製では梁せいの影響がないのに対して、S社製では影響が顕著である。梁-桁と梁-柱を比較すると、S社製の30cmの最大荷重を除いて、30cmの方が高い値を示している。この例外が生じたのは、柱の割裂の影響と思われる。2種の金物を比較してみると、梁-桁30cmの最大荷重と梁-柱30cmの初期剛性以外ではH社製の方が高い値を示している。

いずれにしても、梁受け金物の種類、集成材の種類(スギ、ベイマツ、異樹種複合構成)、構成方法の種類(梁-梁、梁-柱)によってそれぞれ、挙動と最終的な耐力が異なっている。

表3-2-3 金物1個あたりの最大荷重と初期剛性値の比較

H社製 最大荷重 (kN)				
構成	梁せい	スギ	ベイマツ	異樹種
梁-桁	24cm	51.0	64.8	55.0
	30cm	49.0	62.6	51.7
梁-柱	24cm	53.1	76.7	58.5
	30cm	52.2	75.3	62.1

S社製 最大荷重 (kN)				
構成	梁せい	スギ	ベイマツ	異樹種
梁-桁	24cm	39.9	52.1	52.2
	30cm	59.7	67.8	67.2
梁-柱	24cm	44.9	57.0	46.2
	30cm	49.5	65.5	44.5

H社製 初期剛性 (kN/mm)				
構成	梁せい	スギ	ベイマツ	異樹種
梁-桁	24cm	3.52	4.43	3.64
	30cm	3.91	4.40	4.23
梁-柱	24cm	4.64	7.02	5.01
	30cm	4.61	6.42	5.08

S社製 初期剛性 (kN/mm)				
構成	梁せい	スギ	ベイマツ	異樹種
梁-桁	24cm	2.65	2.95	2.69
	30cm	2.56	3.50	3.54
梁-柱	24cm	4.32	5.49	5.18
	30cm	5.27	7.67	6.12

## エ 考察

金物工法用金物の種類は多種多様であるため、ドリフトピンやボルトなどの接合具の単純な特性から接合部の挙動を推定することが困難であり、データベースの構築には実大実験による検証が不可欠である。

## オ 今後の問題点

従来、金物工法に関しては、ハード面よりも、在来軸組構法の生産合理化というソフト面での優位さが指摘されてきた。しかしながら、多種多様のシステムが乱立状態となっている現在、ソフト面におけるいくつかの問題点も指摘されるようになってきた。例えば、金物が各社各様であるということは、北米のプラットフォーム構法のように構法や原料の共通化により合理化を図るという意味では、全く逆効果であること、また施工のミスや品質の低下を防ぐためには、何らかのフランチャイズ的対応が必要であり、それが逆にコスト高につながる恐れもあることなどである。もちろんハード面でも、様々な試験データがオープンになっておらず、プレカットの継手仕口を金物に置き換えただけになっているシステムが多いことなど、いくつかの問題点がある。

しかしながら、これまでに述べてきた様々な利点に加えて、構造的に力の流れが明確であるが故に性能表示に対応しやすいことなど、利点も数多いので、今後も需要は拡大するであろう。

研究面での大きな課題としては、耐久性や長期継続荷重下におけるクリープ現象の定量化などがあげられる。

## カ 要約

現在、金物工法には種々のシステムが提案されているが、いくつかの種類に分類し、その長所短所を整理することが出来た。ただし、いずれもが独自の耐力発現機構を有しているため、構成要素であるドリフトピンやボルトの基礎データから初期剛性や最大耐力を推定することは困難であり、実用化に際しては実際に実大実験を行ってデータを検証することが必要である。

なお、品質の変動が大きなスギでも、一定の仕分けをすることによりメタルガセットトラスの部材として活用できることが実証された。

## キ 文献

(林知行)

### 3. 針葉樹構造用材の耐久性及び劣化の評価技術の開発調査

#### (1) 野外杭試験とファンガスセラー試験による素材耐久性の評価

##### ア 研究目的

性能規定化に伴い、使用環境区分（ユースカテゴリー）に応じた木材の耐久性能を明確化する必要がある。特に国産材を適材適所に有効利用するためには防腐処理による耐久性能の範囲と経年による劣化の進行を明らかにしなければならない。その一方で、健康や環境に対する意識の高まりを受け、木材保存剤もクレオソートやCCAからより安全でより環境への影響が少ない製品へと移行してその多くが上市され大きなウェイトを占めている。本研究では、これら新規保存剤で処理された木材の耐用年数に関する公的データが殆どないのが実情をふまえ、材料それ自体の耐久性を評価する上で最も基本的なデータとなる野外杭試験による効力評価を行った。また野外試験では数年~10年以上の長期間を要するのがネックであるため、試験期間を短縮するための室内促進劣化試験（ファンガスセラー試験）についても検討した。野外試験とファンガスセラー試験とで試験結果を照合することでその有用性を検討した。

##### イ 研究方法

(1) 野外試験 森林総合研究所第2樹木園（つくば市）および森林総合研究所四国支所（高知市）にある野外曝露場で行った。曝露場の土壌は、第2樹木園が畑土、四国支所が畑土または砂地である。無処理杭及び保存処理杭（表1参照）を1993年秋に設置し、毎年1回目視により杭の被害度を0（無被害）から5（健全部なし）までの6段階評価で調査した。10本の杭の平均被害度が2.5となった時点を耐用年数とした。

(2) ファンガスセラー試験 JWPA draft に準じた。土壌成分を腐植土、バーミキュライト、鹿沼土(6:2:2)とする腐朽槽（森林総合研究所）に、温度30℃、相対湿度90%以上の条件下、各樹種の心材から作製した試験体（20 x 20 x 100mm）を設置した。効力試験ではスギ辺材に薬剤を様々な濃度で吸収させた同一寸法の試験体を用いた。それぞれ繰り返し数を5本とし、効力試験では無処理の対照試験体を処理試験体に対峙して設置した。被害度は0（無被害）から5（試験体が崩壊）までの6段階評価とし、定期的を目視を行い、杭試験同様、平均被害度が2.5に到達した時点を耐用年数とした。土台角による実大材試験では、アオモリヒバ、ベイマツ、スギ、アカマツ、ホワイトウッド、ベイヒ、ヒノキの7樹種の無処理集成土台角(105×105×4000mm)から長さ30cmと40cmの試験体を作製し試験に供した。40cmの試験体は長さ方向に20cmの深さ迄埋没し、30cmの試験体はレンガの上に設置する2通りを試験した。

##### ウ 結果

はじめに土台角のファンガスセラー試験の結果を表3-3-1に示した。各樹種の6ヶ月後の埋没試験体の被害度はホワイトウッドで最も高く1.8を示し、アカマツで1.0、ヒノキとヒバで0.5、ベイヒで0.3、ベイマツとスギで0.0となった。10ヶ月後の被害度は、ホワイトウッドでは既に耐用年数に達する2.5を示し、アカマツとヒノキとベイマツで1.5、ベイヒとスギで1.0、ヒバで0.8となった。レンガ横置き試験体はいずれの樹種においても被害度はゼロであった。表3-3-2と表3-3-3にはファンガスセラーによる各樹種の耐久性ならびに薬剤の効力試験の結果をそれぞれ示した。

表 3-3-2 より野外で 6 年かかるスギがファンガスセラー試験では 1.5 年で被害度 2.5 に到達し、促進効果が認められた。しかし針葉樹に関して野外試験での耐久性の大・中・小にかかわらず、ファンガスセラー試験では大体 1.5 年以内に被害度 2.5 に到達し、必ずしも野外試験との結果が対応関係にあるとは言えなかった。また耐久性が極大の熱帯産樹種はファンガスセラー試験でも 5 年にわたり腐朽しなかった。薬剤の効力試験では、短期に効力を判定できることが明らかとなった（表 3-3-3）。

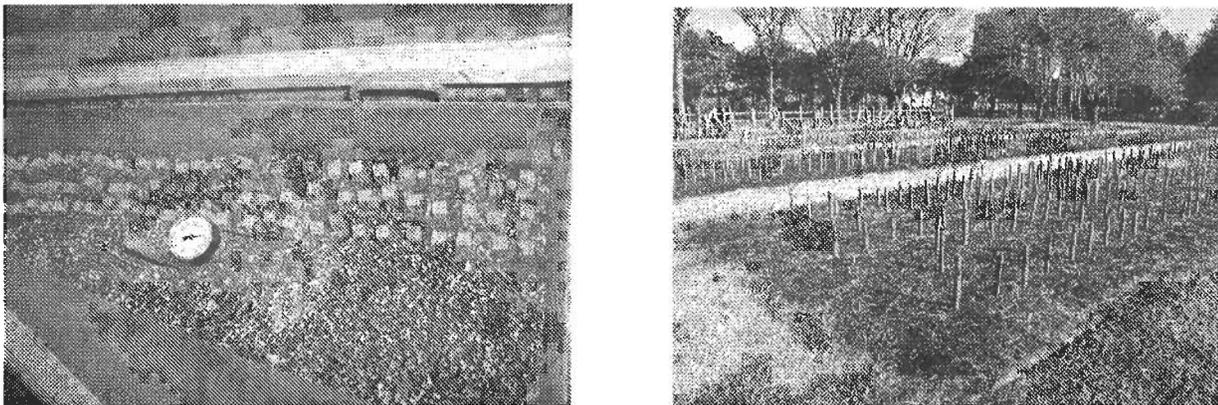


図 3-3-1 ファンガスセラー試験（左）と森林総合研究所第 2 樹木園（つくば市）における野外杭試験（右）

表 3-3-1 ファンガスセラー試験による集成材試験体の被害度の経時変化

樹種	被害度*					
	6ヶ月経過			10ヶ月経過		
	地上部	地際部	地中部	地上部	地際部	地中部
アオモリヒバ						
埋設	0.0	0.0	1.0	0.0	0.8	0.8
レンガ上横置き	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ベイマツ						
埋設	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	1.5
レンガ上横置き	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	1.5
スギ						
埋設	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.0
レンガ上横置き	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
アカマツ						
埋設	0.0	1.0	0.5	0.0	1.0	1.0
レンガ上横置き	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ホワイトウッド						
埋設	0.5	1.3	1.8	0.5	2.5	2.5
レンガ上横置き	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ベイヒ						
埋設	0.0	0.0	0.3	0.0	1.0	1.0
レンガ上横置き	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ヒノキ						
埋設	0.0	0.5	0.5	0.0	1.0	1.5
レンガ上横置き	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

\*被害度 0：無被害、1：局所的な軽微な被害、2：全体的な軽度な被害、3：被害部が木口断面の 2/3 程度、4：被害部が木口断面の 4/5 程度、5：健全部分が残っていない被害

表 3-3-4 と表 3-3-5 に野外杭試験の結果を示す。無処理のスギ試験杭は 2.8 年で耐用年数に達し、5 年以内にその大部分が破損した。これに対し、今回試験した保存処理杭は 10 年以上の耐用年数を持つことが明らかとなった。図 2 に野外試験による ACQ 処理材の経過年数と被害度を示した。一方、参考までにブナに注入した場合には、スギに注入した場合と比べ被害度が高くなる傾向が一般に認められ、AAC 及び VZN で処理された杭は 10 年前後ではほぼ耐用年数となった。

さらに集成材の耐蟻性<sup>3)</sup>を調べるための野外シロアリ試験（鹿児島吹き上げ浜）も行った。接地試験体では試験開始 6 ヶ月後よりシロアリによる被害及び接着層の剥離が認められ、11 ヶ月後の蟻害度は、地際部でアカマツが 2.0 と最も高く、ホワイトウッドとベイマツ、ヒバの順であった。レンガの上に置いた非接地試験体ではホワイトウッドで最も高く 3.0 を示し、アカマツとベイマツで 2.6、スギ 1.2、ベイヒ 0.8、ヒノキとヒバ 0.2 であった。土壌埋設した集成材の積層方向の超音波伝搬時間は、食害度が高くなるほど低くなる傾向を示した。

表 3-3-2 ファンガスセラー試験による各樹種の耐久性<sup>1),2),4)</sup>

Timber species	ファンガスセラーによる被害度				心材の耐久性区分 (野外試験)
	0.5yr	1.5yr	3.0yr	4.0yr	
<b>Hardwood</b>					
<i>Eucalyptus marginata</i> (Jarrh)	0.0	0.0	1.0	1.0	大 (7.0~8.5 年)*
<i>Lophira spp.</i> (Ekki)	0.0	0.0	0.3	1.0	大 (7.0~8.5 年)*
<i>Shorea guiso</i> (Selangan batu)	0.0	0.0	0.0	0.0	大 (7.0~8.5 年)*
<i>Tabebuia spp.</i> (Ipe)	0.0	0.0	0.0	0.0	大 (7.0~8.5 年)*
<i>Peltogyne spp.</i> (Purple heart)	0.0	0.0	0.8	0.8	
<i>Intsia bijuga</i> (Kwila)	0.0	0.0	0.0	0.3	極大 (9.0 年以上)*
<i>Tectona grandis</i> (Teak)	0.0	0.5	1.8	2.0	極大 (9.0 年以上)*
<i>Azelia spp.</i> (Doussie)	0.0	0.3	1.3	1.8	
<i>Hymenaea ckurbaril</i> (Jaotba)	0.0	0.0	0.5	1.0	
<i>Eucalyptus diversicolor</i> (Karri)	0.0	0.0	1.0	1.0	中 (5.0~6.5 年)*
<i>Bowdichia nitida</i> (Sucupira)	0.0	0.0	0.0	0.1	
<i>Neobalanocarpus heimii</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	
<b>Softwood</b>					
<i>Chamaecyparis obtuse</i> (Hinoki)	0.0	4.0	4.8	5.0	大 (7.0~8.5 年)
<i>Cryptomeria japonica</i> (Sugi)	0.0	2.8	3.5	4.8	中 (5.0~6.5 年)
<i>Thujopsis dolabrata</i> (Hiba)	0.0	2.5	4.0	5.0	大 (7.0~8.5 年)
<i>Sequoia sempervirens</i>	0.0	1.0	1.5	2.3	極大 (9.0 年以上)
<i>Thuja plicata</i>	0.0	3.0	4.0	5.0	大 (7.0~8.5 年)
<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	0.0	3.5	4.5	5.0	大 (7.0~8.5 年)
<i>Tsuga sieboldii</i> (Tsuga)	1.9	4.0	5.0	---	小 (3.0~4.5 年)

\* 国外での試験による

## エ 考察

土台角のファンガスセラー試験では、試験開始後、10 ヶ月で材料の耐久性の大小についての傾

向を把握でき、ホワイトウッド集成材は短期間で腐朽してしまうことが明らかとなった。また小試験体を用いた試験では、素材耐久性や薬剤の効力を短期間で判定できた。今後は、国産材需要拡大のために新たに開発された木材製品や、日本で耐久性データのなかった新しい輸入材の短期間の評価にファンガスセラー試験が役立てられていくものと思われる。

表 3-3-3 ファンガスセラー試験による薬剤の効力試験（森林総合研究所腐朽槽）

薬剤名 (略号)	吸収量 (kg/m <sup>3</sup> )	試験体の平均被害度	
		処理材	無処理
CuAz	1.6	0.6	4.8
AAC	2.6	2.6	5.0
	5.2	2.2	4.8
	9.3	1.8	4.8
	ナフテン酸銅	0.5	3.6
ナフテン酸亜鉛	1.1	2.8	4.4
	2.3	0.6	4.6
	1.0	3.4	4.4
ACQ	2.1	3.0	3.8
	4.0	2.6	4.8
	1.3	3.8	4.8
	2.7	3.0	4.6
CCA	5.5	0.8	3.8
	5.0	0	5.0
	ヒノキ心材	---	3.8
ベイビバ心材	---	4.4	5.0

表 3-3-4 野外杭試験による薬剤の効力試験 1（つくば 7 号試験地）

処理方法	地上	地際	地中	耐用年数
CCA-1A 2%	2.0	0.9	0.6	23 年以上
CCA-1A 0.4%	0	2.7	1.4	7 年以上
CCA-1A 0.1%	0	3.8	4.1	4 年
Basilit C.F.K. 2%	1.0	0.5	0.1	23 年以上
Basilit C.F.K. 0.4%	0.1	3.0	2.8	5 年
Basilit C.F.K. 0.1%	0	3.8	3.8	3 年
Cu-Naphthenate 1%	0	0.3	0.2	23 年以上
Cu-Naphthenate 0.2%	1.6	1.9	2.7	23 年以上
Cu-Naphthenate 0.04%	0	3.7	3.4	5 年
Cu-Naphthenate 0.02%	0	2.9	2.7	4 年
Zn-Naphthenate 1%	1.4	1.2	2.7	23 年以上
Zn-Naphthenate 0.2%	0.4	2.6	3.4	10 年以上
Zn-Naphthenate 0.04%	0.5	2.8	3.7	7 年以上
Zn-Naphthenate 0.02%	0	2.3	2.5	4 年
クレオソート原液	0	0	0.2	23 年以上

一方、2004年JIS改訂によりファンガスセラーと野外杭試験が、JIS K 1571「木材保存剤の試験方法及び性能基準」試験方法の中に取り入れられた。野外杭試験の結果、AAC、NZN、VZN、ACQなどはいずれも10年以上の効力が確認され、性能的には満足のいく結果が得られている。さらに曝露条件下では、雨水等の作用により処理木材から薬剤が溶脱する可能性はないか、安全面と効力の持続にも留意して試験を続けていく必要がある。

表 3-3-5 野外杭試験による薬剤の効力試験 2 (つくば7号試験地)<sup>5)</sup>

保存薬剤		無処理	AAC-1	AAC-2	AAC-3	NZN	NZN-dry	VZN	ACQ	NCU
吸収量(kg/m <sup>3</sup> )		—	11.7	7.9	8	2.5	3.2	3.6	2.4	1.3
10年経過時の平均被害度	地際	4.9	1.7	1.6	1.6	1.4	0.3	1.2	0.6	0.0
	地中	4.9	1.6	1.8	1.8	0.2	0.1	0.4	0.1	0.0
耐用年数		2.8	>10*	>10*	>10*	>10*	>10*	>10*	>10*	>10*

\*いままなお耐用年数に達しておらず試験は現在も継続中である。

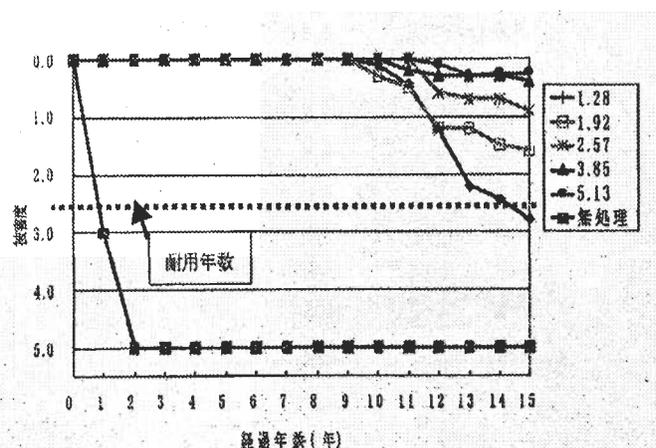


図2: 各吸収量における地際部の評価(スギ)

図 3-3-2 野外試験による ACQ 処理材の経過年数と被害度<sup>6)</sup>

### オ 今後の問題点

ファンガスセラー試験は素材耐久性や薬剤効力の評価に有効であることが判明したが、さらに精度を高めてより野外試験に近い結果を得るために、実験条件（腐朽槽の土壌成分、水分管理、菌の接種方法、試験体の寸法など）について、これからも検討していく余地がある。

### カ 要約

野外試験とファンガスセラー試験により材料の耐朽性と薬剤の効力を明らかにした。ACQ等の薬剤はポスト CCA の有力な薬剤として、野外でも 10 数年の効果が期待できる。ファンガスセラー試験は実大材でも行い、短期間(10ヶ月)で材料の耐朽性能の結果をつかむのに有効であった。

(2) 使用環境区分 (ユースカテゴリー) を考慮した新しい耐久性能試験の試み<sup>8)</sup>

ア 研究目的

前節でも記述したようにこれまでに多くの薬剤の効力や素材耐久性の評価が野外杭試験として行われてきた。しかし、そこで得られるのはあくまで材料それ自体の耐久性であり、同一素材でも使用環境が異なれば当然その耐用年数も大幅に異なってくる。このことを端的に示す例として、ヨーロッパで“高耐久”に分類されるボンゴシ材を日本で使用した場合、愛媛での落橋事故を始めとする日本各地でのボンゴシ製品の腐朽被害報告例がある<sup>7)</sup>。このような背景の中で、今後 ISO で規定されるであろう使用環境区分に応じていかなる程度の保存処理を行えばどの程度の耐用年数が期待できるといった特定環境下における耐久性試験が重要で、日本でも新たに開発していく必要がある。本研究ではこのような環境の一つとして、住宅の床下や壁内など結露や湿気による腐朽リスクの高い環境を想定した。構造材の中の部材としての耐朽性能の室内試験方法として、結露・湿気の持続期間と腐朽やカビの発生との関係を調べることを目的に、Hedley らや藤平らの報告を参考に構造体のミニチュアモデルを使った新しい方法を検討した<sup>8),9),10)</sup>。

(ミニチュアモデルの概観)

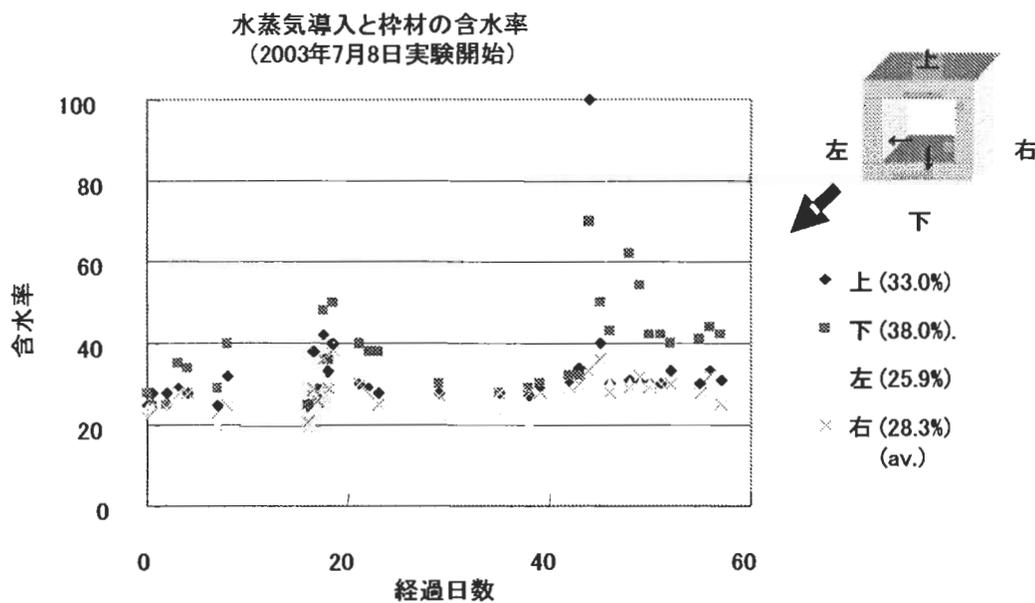
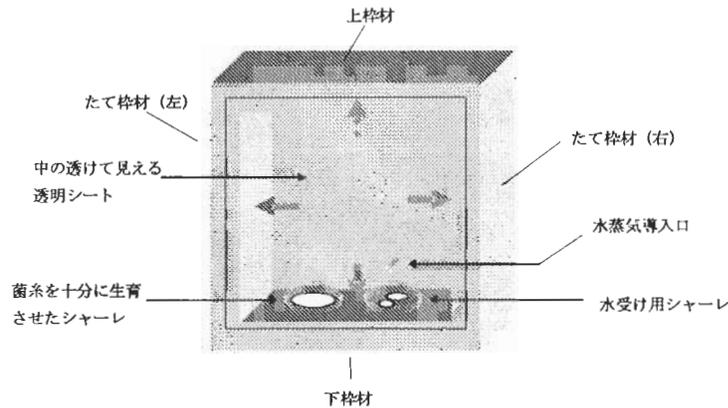


図 3-3-3 水蒸気導入と枠材の含水率の関係<sup>8)</sup>

## イ 研究方法

杵材には無節のスギ辺材 (3×10×30cm) を用い、2~3日に一度、一定量の水蒸気 (試験体一個について約20g) を背面より無菌的に導入して、各杵材の高い含水率や表面の濡れた状態を保った。試験は夏季の温度変化を想定し、7月-9月の間、試験体を室内に置いて、目視で腐朽の有無をチェックした。各試験体内部の含水率を把握する目的で、菌を入れないコントロール試験体を用いて各試験体と同じ日時に水蒸気導入を行ない、数時間経過の後上杵材を開けて、高周波含水率計 (DELTA-55 SSA electron) により、上杵材、たて杵材 (左)、たて杵材 (右)、下杵材の中央付近の含水率を測定して、これを目安とした。供試菌には、カビ (*Aspergillus niger*, *Penicillium funiculosum* Thom) と褐色腐朽菌 (*Fomitopsis palustris*) を用い、これらを十分生育させたシャーレを下杵材の上に置き、菌を直接でなく孢子飛散の形で接種するようにした。それぞれ繰り返し試験体数は2個とした。

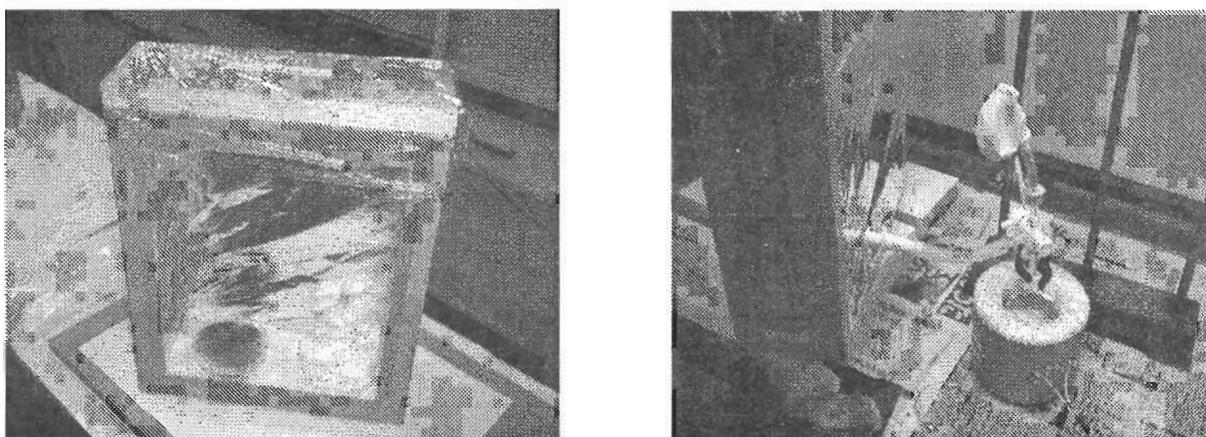


図3-3-4 本研究で使用したミニチュアモデル (左) と背面の水蒸気導入部 (右)

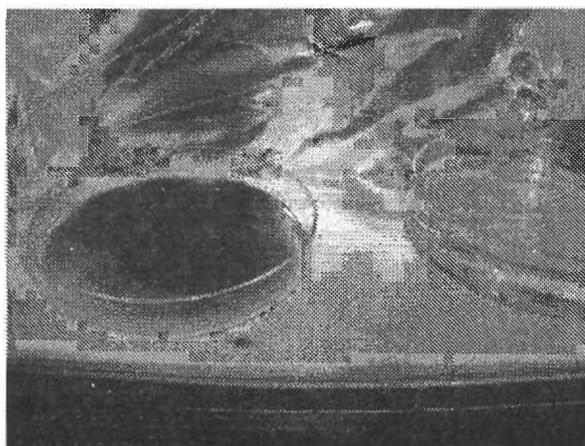


図3-3-5 下杵材上で観察された *A.niger* によると思われる着色

## ウ 結果

図3に示したように水蒸気の導入により各杵材の含水率に偏りが生じ、下の杵材が最も含水率が高く（平均38%）、次に上の杵材が高い傾向にあり（平均33%）、左右の杵材は26-28%付近の含水率に保たれた。オオウズラタケでは2個の試験体とも、およそ1ヵ月後に常に濡れた状態の続く下杵材に白色の菌糸の付着が認められた。上杵と左右の杵材にはこのような菌糸は認められなかった。下杵材の菌糸は成長し3ヶ月後には下杵材のかなりの部分が菌糸で覆われてその後も菌糸は成長を続けた。この状態が継続すると腐朽に至るものと考えられる。*A.niger*においても2個の試験体とも、それぞれ13日後、19日後に*A.niger*と思われる緑色のスポットが下杵材においてのみ中央付近に現れ徐々に成長した。*Penicillium funiculosum Thom*ではコンタミが生じ試験を途中で終了した。

## エ 考察

カビや腐朽菌の存在のもと、実験室的な方法により、木材の表面が濡れた状態が持続すれば数日から数週間でカビや腐朽が発生する可能性が示唆された。これまで含水率の調整された木材に菌糸を強制的に接種させる試験は報告されているが<sup>11)</sup>、本実験のように孢子が飛散する形で腐朽菌の木材へ付着させ発芽させるシステムは、劣化外力として水分・湿気や環境中からくる腐朽菌の孢子の作用を考えた場合、実際の環境により近いと考えられる。さらに繰り返し数を増やして再現性を確認するとともに、試験は現在も継続中であり、各種劣化診断手法による腐朽の評価も併せて行っていく必要もあろう。

## オ 今後の問題点

木材の劣化環境に関して、対象となる生物や環境の厳しさによる保存処理木材の性能区分が行われており、リスクに応じてK1からK5の5段階に区分されている。その中でも「外気又は湿潤環境にしばしば露出される場合で非接地で長期の耐用を期待する」と定義されるK3は、住宅の床下や壁内など身近で重要な環境であるにも関わらず、これまでのところ適切な試験方法はなかった。このK3の壁内試験は最終年度に開始することになり、まだ試行段階であるものの将来の足がかりとなるデータが得られた。今後も続けていく必要がある。さらに木材製品を劣化外力の異なる様々な環境下で使用していくことを考えると、本プロジェクトで扱わなかった非接地・曝露に関する試験方法も検討する必要がある。野外試験、ファンガスセラー試験、実態調査のデータと照らし合わせていけば成果の活用も一層有効なものとなる。

## カ 要約

現在のところ試行段階であるが、木材の実際に使用される環境を想定した新しい試験方法の開発・調査に着手できた。カビや腐朽菌の存在下、水分や湿気的作用により数日から数週間でカビや腐朽が発生させることに成功しており、本試験方法の有用性が実証された。

## （3）耐久性能実態調査

### ア 研究目的

構造用部材としての耐久性能を知るには構造をモデル化して経時的に評価項目を測定する方法と、実際の構造物についてそれを行う方法がある。ここでは後者として木製ダムの実態調査を行った。

## イ 研究方法

平成4年に作られたCuAz（銅・アゾール）処理による歌才の木製ダムを調査した。測定項目は、ピロディンによるピン打ち込み深さ、PUNDITによる超音波伝搬速度、及び目視による劣化度である。駒ヶ岳の木製ダムは平成13年度に竣工したばかりであるので、初期値を得る目的で、一部の部材について、ピロディンによるピン打ち込み深さ、Wood Pole Testerによる超音波伝搬速度の測定を行った。使われた材料はスギ太鼓材にCuAzを加圧注入したものである。雨水のしみ込みやすい比重の軽い火山れき上に施工されており、降雨時においても流水がダムを洗うことが少ない環境であると思われる。

表3-3-6 横丸太のピロディン打ち込み深さと超音波伝搬速度と目視劣化診断

横丸太の位置 (上部から)	ピン打ち込み深さ (mm)	超音波伝搬速度 (m/s)	目視
1	16	3456	健全
4	11	3788	健全
7	17	4545	健全
10	12	3906	健全
13	14	3289	健全
16	14	4360	健全
19	12	2380	*
21	14	3846	健全
22	23	測定不能	**
23	18	測定不能	**

\*目視では健全であるが、木材の内部が一部腐朽している可能性あり

\*\*土中に埋もれており目視は出来なかった

## ウ 結果

表6に、流水に洗われる可能性のある箇所横丸太（直径10cm）の測定結果を示す。ピン打ち込み深さは、10-23mmの範囲であり、過去の調査結果と比較すると健全と考えられる数値である。木理方向の超音波伝搬速度は、上から19番目の横丸太の2380/s以外は、3000-4000m/sの値を示し健全であると言える。19番目の横丸太は、目視では健全であったが、木材内部の一部に腐朽の可能性はある。しかし、今回の非破壊調査では内部腐朽の有無については確認できなかった。

駒ヶ岳の木製ダムのピン打ち込み深さは、22、26、26、28、22、23、31mmであった。これらは、スギ健全材の文献値と同様な値である。木理方向の超音波伝搬速度は、3970、3218、3599、3821、2831、3700、2362、4747、4700、2611、4700、4653、4519、3241、3917、2866、2487、3333、3701m/sであった。

## エ 考察

本木製ダムは、竣工後9年経過した時点では目視では全ての部材が健全であった。また、ピン打ち込み深さの値も健全材としての値であった。超音波伝搬速度の値は1箇所ですら低い値の部材が認められたが、劣化によるものかどうか確認できなかった。今回の限られた測定ではあるが、部材

の劣化は発生していないと結論できる。

#### オ 今後の問題点

いずれの試験も長期間を要するので、今後も測定を続けていく。実態調査はデータの集積の面のみならず、新しい試験方法の確立のためにも重要であるので、視野を広げ、既存の様々な木製施設を耐久面から注視していく必要もあろう。

#### カ 要約

ピロディン打ち込み深さと超音波伝搬速度と目視により、横丸太の劣化を評価した。

#### キ 引用文献

- 1) Koichi Yamamoto, Ikuo Momohara and Wakako Ohmura (2001) Evaluation Methods for the Natural Durability of Timber Species, High-Performance Utilization of Wood for Outdoor Uses, Ed Y. Imamura .
- 2) Koichi Yamamoto, Ikuo Momohara (2002) Estimation of service life of durable timber species by accelerated decay test and fungal cellar test, IRG/WP 02-20249 (2002).
- 3) 大村和香子、山本幸一、桃原郁夫、宮武敦、小舘木材 (2002) 数樹種の集成材の野外シロアリ試験とファンガスセラール試験、第20回日本木材加工技術協会年次大会研究発表要旨集、56-57.
- 4) 山本幸一、桃原郁夫、大村和香子、西村 健 (2002) 森林総合研究所の杭試験9報—幾つかの熱帯材の素材耐用年数、第20回日本木材加工技術協会年次大会研究発表要旨集、56-57.
- 5) 桃原郁夫、西村 健、大村和香子 (2004) 森林総合研究所第2樹木園における杭試験(1)、第54回日本木材学会研究発表要旨集、385.
- 6) 前田慶史、山本幸一 (2003) ACQの野外効力試験結果、第53回日本木材学会研究発表要旨集、444.
- 7) Takeshi NISHIMURA, Laëtitia FEBVRE\*, Vanessa GINI\* and Koichi YAMAMOTO: Screening of wood preservatives and natural compounds against 2 isolates of *Loweporus tephroporus* from severely damaged ekki wooden bridges in Japan, *Transactions of Materials Research Society of Japan*, in press, Vol.29-No.5 (2004).
- 8) 西村 健、山本幸一 (2004) 木材の実際に使用される環境を想定した新しい耐朽性試験の試み、第54回日本木材学会研究発表要旨集、681.
- 9) Hedley M., Page D., Patterson, B. (2002) IRG Document IRG/WP 02-20247.
- 10) 藤平真紀子、中村嘉明、疋田洋子 (1997), 木材保存, 23, 236-243.
- 11) 雨宮 昭二、松岡 昭四郎、井上 衛 (1974), 木材工業, 29, 50-55.

(西村 健、桃原郁夫、大村和香子、山本幸一)

---

「交付金プロジェクト」は、平成13年度に森林総合研究所が独立行政法人となるにあたり、これまで推進してきた農林水産技術会議によるプロジェクト研究（特別研究など）の一部、および森林総合研究所の経費による特別研究調査費（特定研究）を統合し、研究所の運営費交付金により運営する新たな行政ニーズへの対応、中期計画の推進、所の研究基盤高揚のためのプロジェクト研究として設立・運営するものである。

この冊子は、交付金プロジェクト研究の終了課題について、研究の成果を研究開発や、行政等の関係者に総合的且つ体系的に報告することにより、今後の研究と行政の連携協力に基づいた効率的施策推進等に資することを目的に、「森林総合研究所交付金プロジェクト研究成果集」として刊行するものである。

---

ISSN 1349-0605

森林総合研究所交付金プロジェクト研究 成果集 4

「性能規定化に対応した国産材による高信頼性構造用材の開発調査」

発行日 平成16年9月1日

編集・発行 独立行政法人 森林総合研究所

〒305-8687 茨城県つくば市松の里1番地

電話. 029-873-3211 (代表)

印刷所 有限会社 アレス

