

鳥取県産スギ3層クロスパネルの住宅用部材としての  
性能評価と利用技術に関する研究

Evaluation of Physical Performance of Three-Cross-Layered Panel of Sugi Wood  
and Its Application to Housing Members

川上敬介

2007



# 目 次

緒言	1
1. 研究の目的	1
2. 既往の研究	4
3. スギ3層クロスパネル生産の現状	5
<b>第1章 スギ3層クロスパネル用丸太材及び幅はぎ板の材質と曲げ性能</b>	<b>9</b>
1. 1 背景と目的	9
1. 2 材料及び方法	9
1. 2. 1 スギ丸太材の材質調査	9
1. 2. 1. 1 試験地	9
1. 2. 1. 2 対象とした丸太材の概要	10
1. 2. 1. 3 丸太材の材質調査方法	10
1. 2. 2 幅はぎ板の材質調査	11
1. 2. 2. 1 幅はぎ板	11
1. 2. 2. 2 幅はぎ板の材質調査方法	11
1. 3 結果及び考察	12
1. 3. 1 スギ丸太材の材質	12
1. 3. 1. 1 末口直径、末口年輪数、末口年輪幅、密度、細り率	12
1. 3. 1. 2 動的ヤング係数	14
1. 3. 1. 3 動的ヤング係数の視覚的指標の可能性	14
1. 3. 2 幅はぎ板の材質	16
1. 3. 2. 1 密度及び曲げヤング係数	16
1. 3. 3 A Q基準値から見た丸太材及び幅はぎ板の曲げ性能の評価	17
1. 4 要約	18
<b>第2章 スギ3層クロスパネルの住宅用部材としての材質と強度特性</b>	<b>19</b>
2. 1 背景と目的	19
2. 2 材料及び方法	19
2. 2. 1 供試材料	19
2. 2. 2 試験方法	20
2. 2. 2. 1 A Q基準における試験・検査項目	20
2. 2. 2. 2 材質調査	20
2. 2. 2. 3 曲げ性能試験	21

2. 3	結果及び考察	2 1
2. 3. 1	材質調査および曲げ性能試験結果	2 1
2. 3. 2	AQ曲げ性能基準によるスギ3層クロスパネルの格付け	2 2
2. 3. 3	材質と曲げ性能の関係	2 3
2. 4	要約	2 6

### 第3章 スギ3層クロスパネルの住宅用下地材としての温熱特性

3. 1	背景と目的	2 7
3. 2	材料及び方法	2 7
3. 2. 1	供試材料	2 7
3. 2. 2	試験方法	2 8
3. 2. 2. 1	試験装置の作製	2 8
3. 2. 2. 2	温度及び電力量の測定方法	2 9
3. 3	結果及び考察	3 0
3. 3. 1	スギ3層クロスパネルを下地材にした場合の温度変化	3 0
3. 3. 2	各下地材における温度変化と電力量の特徴	3 1
3. 3. 2. 1	断熱材無しの場合の温度変化	3 1
3. 3. 2. 2	断熱材有りの場合の温度変化	3 3
3. 3. 2. 3	電力量	3 5
3. 3. 3	スギ3層クロスパネルの住宅用下地材としての保温性評価	3 7
3. 4	要約	3 8

### 第4章 スギ3層クロスパネルの住宅用床・壁材としての反り特性

4. 1	背景と目的	3 9
4. 2	材料及び方法	3 9
4. 2. 1	供試材料	3 9
4. 2. 2	試験方法	4 0
4. 2. 2. 1	試験機と試験体の設置	4 0
4. 2. 2. 2	温湿度設定と試験機の運転	4 1
4. 2. 2. 3	反り量の測定方法	4 2
4. 3	結果及び考察	4 2
4. 3. 1	スギ3層クロスパネルの反りの特徴	4 2
4. 3. 2	湿度変化がスギ3層クロスパネルの反りに及ぼす影響	4 5
4. 3. 3	スギ3層クロスパネルと他のパネルの比較	4 8
4. 3. 4	スギ3層クロスパネルの反り抑制手法の検討	5 0

4. 3. 4. 1	捨て張り	5 0
4. 3. 4. 2	パネル各層の厚さ比率	5 1
4. 4	要約	5 3

**第5章 スギ3層クロスパネルの落とし込み壁体としての構造性能と**

	<b>住宅建築への活用</b>	5 4
5. 1	背景と目的	5 4
5. 2	材料及び方法	5 5
5. 2. 1	供試材料	5 5
5. 2. 2	落とし込み壁の概要	5 5
5. 2. 3	面内せん断試験方法	5 7
5. 3	結果及び考察	5 8
5. 3. 1	荷重－変形角曲線	5 8
5. 3. 2	壁倍率	5 8
5. 3. 3	試験体の損傷状況	5 8
5. 4	スギ3層クロスパネルを活用した落とし込み工法による住宅建築の実践	6 3
5. 5	要約	6 6
	<b>総括</b>	6 7
	<b>引用文献</b>	7 0
	<b>謝辞</b>	7 3
	<b>和文摘要</b>	7 4
	<b>Summary</b>	7 8



# 緒 言

## 1. 研究の目的

### (1) スギは古くから利用されてきた日本固有の樹種

スギは日本固有の樹種として、古くから人々の暮らしの中で利用されてきた。山陰地方の遺跡や遺構から発掘された木材の中にはスギが多く含まれており、縄文後期には丸木舟や火鑽具など、弥生中期には稲作用農具や倉庫、祭祀用建物などに利用されていた<sup>1)</sup>。明治45年に発行された「木材の工藝的利用」では、その当時スギが建築材や家具材などとして多用されていることが伺え<sup>2)</sup>、現在でも様々な用途でスギ材が利用され続けている。スギは、太古の昔から現代まで私たちの暮らしにとって欠かすことの出来ない、最も身近な材料の一つであるといえる。

### (2) 日本の森林・林業・木材業が抱える現状

日本の森林、林業、木材業を取り巻く状況は、第2次世界大戦後に大きな転換点を迎えた。建築資材の不足に対応すべく、各地でスギやヒノキなどの針葉樹が大量に植林されてきた。鳥取県を例にとると、平成12年現在、258千haの森林面積のうち、民有林人工林面積は121千ha（約54%）に及ぶ。そのうちスギは62千haで、約30千haは標準伐期齢以上となっている<sup>3)</sup>。蓄積も年々増え続けており、大量の人工造林木が育てる段階から利用する段階に入っている。その一方で、木材の主要な消費源である住宅建築では、スギの利用にとって厳しい状況が続いている。国内の住宅着工戸数は昭和48年の190万戸を最高に、近年では120万戸程度まで減少している。生活様式の多様化とともに日本の木造率も減少傾向を示し、近年では45%程度で推移している状況である<sup>4)</sup>。日本の人口動態から考えると、今後世帯数の増加による住宅着工数の増加は期待できない。さらに、木材の価格について、昭和55年に70,400円だったスギ柱材（長さ3m、10.5cm角）の価格（平均値）は、平成17年に41,800円（小売業者への店頭渡し販売価格）まで下落してしまった<sup>5)</sup>。国産材には外国産材や他の素材との厳しい競合を勝ち抜くために、様々な取り組みが求められている。

### (3) 多様な消費者ニーズとスギ材の製品開発

施主や建築関係者などの「消費者」の意識も近年大きく変化している。地球環境保護に対する取り組みが世界的規模で進む中、人工造林木は伐採、利用することによって循環型社会の構築や環境保全に貢献できる優れた材料である、という考え方が消費者にも浸透してきており、国産材を利用することへの理解が着実に深まりつつある。ただし、それだけで国産材の需要は大きくならない。消費者は、環境問題への高い意識を持ちつつ、商品の品質や価格に対しても常に厳しい目を向けている。丸太をただ四角にして板や柱にするのではなく、より建築家や施主のニーズをくみ取った、魅力ある製品開発が必要となっている。特に今後の木材製品に対しては、①無垢の質感を日々の暮らしの中で実感できる、②品質が明示されている、③健康や安全に配慮されている、④建築のコストダウンにつながる、等が提案できる新しいスギ製品の開発が望まれている。

### (4) スギの新たな利用方法、それが「スギ3層クロスパネル」

前述のような情勢のなか、スギ材利用の新たな方向性を示す製品として「スギ3層クロスパネル」が開発され、実用化されるに至った<sup>6) 7) 8) 9) 10)</sup>。スギ3層クロスパネルは、厚さ12mmのスギ幅はぎ板を、繊維方向が互いに直交するように3枚積層接着した幅広の面材(第1-(4)-1図、第1-(4)-2図)で、平成9年頃から本格的な研究開発が始まった。ここでスギ3層クロスパネルの開発経緯について当時の資料<sup>6) 7) 8)</sup>を基に概説する。



第1-(4)-1図 スギ3層クロスパネル



第1-(4)-2図 スギ3層クロスパネル  
(断面)

まず、国内の人工林の成熟化に伴い、供給原木の主流となる直径 16cm 以上の中径材を活用するための多用途の製品開発が重要な課題とされた。一方木造住宅工法の多様化に伴い、耐震性能や工期短縮及びコストダウンに大きな効果のある根太レス工法が注目を浴び、かつ、健康住宅指向や天然素材指向により、工務店からは無垢のスギ板を使った根太レス材の要望が高まっていた。このような背景からスギ 3 層クロスパネルは、今後供給増が見込まれる中径木の有効利用を図るため、木造建築において使用量が多い床板用積層ボードの開発を主たる目的にして、製材による挽き板段階から幅はぎ板、そして幅はぎ板の積層化までを連続生産する一貫製造システムを開発し、プラントを製作して関係業界に普及を図り、結果として国産中径木の利用促進と地域林業の活性化に大きく貢献していくことを目的として開発が進められた<sup>6) 7) 8)</sup>。スギ 3 層クロスパネルおよび製造システムの開発には、静岡県の機械メーカーが参加し、林野庁の補助事業を活用し実用化されるに至った。平成 18 年 12 月現在、静岡、徳島、鳥取の 3 カ所で製造が行われている。

スギ 3 層クロスパネルは、無垢の質感をそのままに、無垢材では得ることの出来ない幅広面材で施工性が良好であること、また接着剤には水性高分子イソシアネート系接着剤を使用しており、接着剤由来によるホルムアルデヒドの放散が無いことなど、様々な利点を備えた建築材料である。今後、スギ 3 層クロスパネルに対する消費者の一層の支持を得るためには、原材料である地域産スギ丸太材やそれから製造された幅はぎ板の品質を的確に把握しつつ、スギ 3 層クロスパネルの住宅用部材としての性能を実際の使用環境や建築現場のニーズを考慮しながら検証し、パネルの特徴を活かした利用技術を提案することが必要である。

本研究は、スギ材を活用した新しい住宅用部材として注目されているスギ 3 層クロスパネルについて、その材質、強度、温熱、反りなどの特性を明らかにして住宅用部材としての性能を評価しつつ、厚みのある幅広な、化粧性にも優れた面材というスギ 3 層クロスパネルならではの特長が活きる利用技術を提案することを目的とする。まず第 1 章では、鳥取県産スギ丸太材と幅はぎ板の材質を明らかにし、地域産スギ材のパネル原材料としての性能を把握する。第 2 章では、スギ 3 層クロスパネルの基本的材質および構造用部材としての曲げ特性を把握し規格による性能評価を行う。第 3 章

では、スギ3層クロスパネルの温熱特性の把握により、その厚さを活かした住宅用下地材としての保温性能、エネルギー消費について評価する。第4章では、幅広い面材であるスギ3層クロスパネルの反りに及ぼす温湿度の影響を明らかにすることで寸法安定性能を評価し、反りを低減する手法、製法について検証をおこなう。最後に、第5章において、スギ3層クロスパネルの特徴が活きる工法として「落とし込み工法」に注目し、その耐力壁としての面内せん断性能を明らかにする。

## 2. 既往の研究

スギ3層クロスパネルの基本性能に関する研究について、溝口ら、池田らは、幅はぎボード3枚を繊維方向によって積層方向を違えた複数タイプの3層ボードを試作し、曲げ性能、浸せき・煮沸はく離試験等を行っている<sup>9) 10)</sup>。これらの試験結果は、現在のスギ3層クロスパネルの生産、利用における基礎データとなっている。内迫らは、仕上がり厚さが21mmと15mmの3層クロスパネルについて、曲げや釘側面抵抗、耐水性などの性能評価を行い、MOEは15mm厚構造用合板(1級)に、釘側面抵抗力は9mm構造用合板(1級)と同程度に評価できることを明らかにした<sup>11)</sup>。朴らは直交型積層材の静的曲げ性能に及ぼす年輪傾角の影響あるいは曲げクリープ性能について小試験体を用いた詳細な検討を行っている<sup>12) 13) 14)</sup>。

スギ3層クロスパネルの構造的利用に関する研究について、田中ら、江川らは、スギ3層クロスパネルを床に用いた場合の曲げ性能について、大引や根太と組み合わせた場合の曲げ性能について実大試験体を用いて調べ、根太せい105mmの根太を使用すれば、根太ピッチは910mm程度まで広げてもたわみ制限を満たすことなどを明らかにした<sup>15) 16)</sup>。中尾らは、スギ3層クロスパネルを耐力壁要素としての利用について、面内せん断試験によって壁倍率の算出を行い、本試験条件で大壁、真壁仕様ともに壁倍率2.5倍相当の耐力を有していることを報告している<sup>17)</sup>。この他にも、鍋野らが、スギ3層クロスパネルの床構面としての有効利用を目的に、木ダボ接合による水平せん断性能について試験を行っている<sup>18)</sup>。一方、スギ3層クロスパネルのエレメントである幅はぎ板の構造的利用についても研究されており、遠矢らは、幅はぎ板の壁材としての利用に関する構造的な検証を行っている<sup>19)</sup>。床・壁の工法は、

金物の種類や接合方法等によって様々な組み合わせが考えられることから、スギ3層クロスパネルを床、壁板として活用するための構造性能評価について今後の検証が期待される。

スギの反りに関する研究について、池田らは乾湿繰り返し試験とボード両面に湿度差を付けた吸放湿試験を行い、繊維配向の違いが反り量に及ぼす影響について報告している<sup>10)</sup>。町田らは920mm角の小試験体を用いて、表と裏の湿度条件に差を生じさせたときのクロスパネルの反り量について、吸湿面のワックス塗布の影響も含めた検討を行っている<sup>20)</sup>。

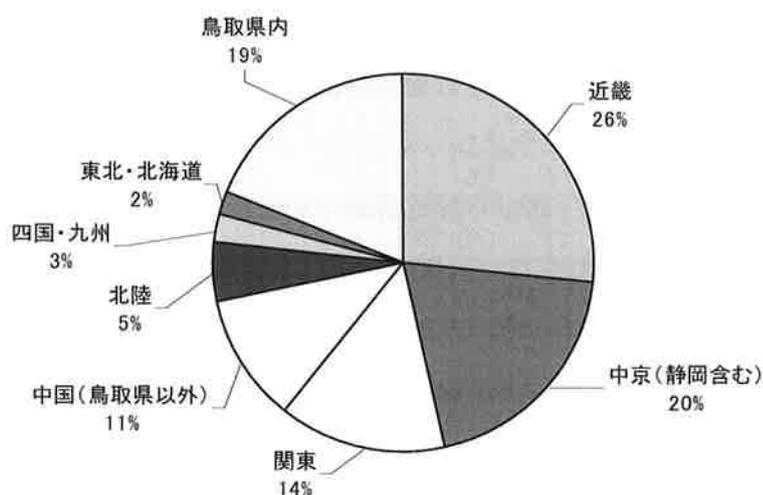
スギ3層クロスパネルは、研究開発が進められて10年程度しか経過していないことから報告事例は極めて少ない。また、一地域で生産されたスギ3層クロスパネルの性能について、原材料の段階から住宅建築に至る過程の中で総合的に検討した事例はない。全国各地で取り組まれている地域産材の活用のためにも、スギ3層クロスパネルを核とした、研究データの蓄積が望まれる。

### 3. スギ3層クロスパネル生産の現状

スギ3層クロスパネルは全国3カ所で生産（平成18年12月現在）されており、そのうち1カ所は鳥取県内の企業で、平成12年度から生産が開始されている。ここでは鳥取県におけるスギ3層クロスパネル生産の現状について概説する。

#### (1) スギ3層クロスパネルの出荷先

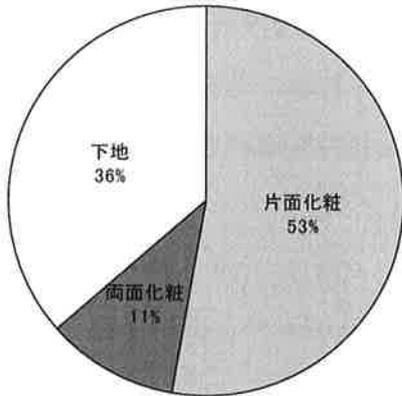
平成16年1月から同年12月におけるスギ3層クロスパネルの出荷先を第3-1図に示す。最も多い出荷先は、鳥取から最も近い大消費地である近畿圏の26%であった。次いで中京圏（静岡を含む）の20%、関東圏の14%、中国地域（鳥取県を除く）の11%であった。なお、鳥取県内への出荷は19%であった。量は少ないが、東北・北海道地域、九州地域にも出荷されており、スギ3層クロスパネルが全国の消費者、建築関係者から注目されていることが伺える。



第3-(1)-1図 スギ3層クロスパネルの出荷先(平成16年)

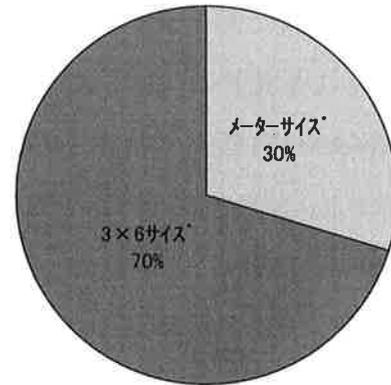
## (2) スギ3層クロスパネルの製品別生産割合

スギ3層クロスパネルの商品のラインナップは、化粧性の有無およびサイズにより構成されている。化粧性の有無により、スギ3層クロスパネルの片面が節のない、あるいは抜け節を補修した化粧性に優れた面である製品(以下、片面化粧)、両面が節のない、あるいは抜け節を補修した化粧性に優れた面である製品(以下、両面化粧)、両面とも節のある、あるいは抜け節を補修していない、下地としての使用が主な製品(以下、下地)の3種類に大別される。サイズは厚さが36mmで、幅910×長さ1,820mm(以下、3×6サイズ)と幅1,000×長さ2,000mm(以下、メーターサイズ)の2種に大別される。ここで平成16年8月から平成18年4月までの、スギ3層クロスパネルの生産量に占める各製品の生産割合を第3-(2)-1図、第3-(2)-2図に示す。化粧性の面から見ると、生産量の64%は化粧面を有する製品で、そのうちの80%以上(全体の53%)が片面化粧で占められる。片面化粧は化粧性と構造材料の両立を可能にすることから、人気のある製品であることが伺える。またサイズ別では、3×6サイズが全体の70%を占める。



第3-(2)-1図 スギ3層クロスパネルの  
生産割合

(平成16年8月～平成18年4月)

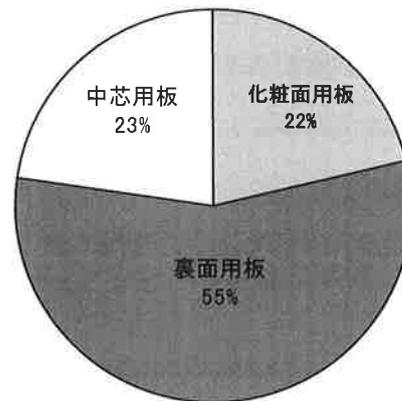


第3-(2)-2図 スギ3層クロスパネルの  
サイズ別生産割合

(平成16年8月～平成18年4月)

### (3) スギ3層クロスパネルの化粧面用幅はぎ板の生産状況

スギ3層クロスパネルの販売の主力は前述の通り片面化粧の製品である。生産のためには化粧面用のほぼ無節の板が必要であり、その確保はパネル生産にとって極めて重要である。そこで平成16年8月から平成18年4月までに原木を自社で製材して生産された全ての幅はぎ板について、使用部位別の生産割合を調べたところ、化粧面用は全体の22%、中芯用が23%、裏面用が55%であった(第3-(3)-1図)。一方、実際のパネル生産に要した幅はぎ板の

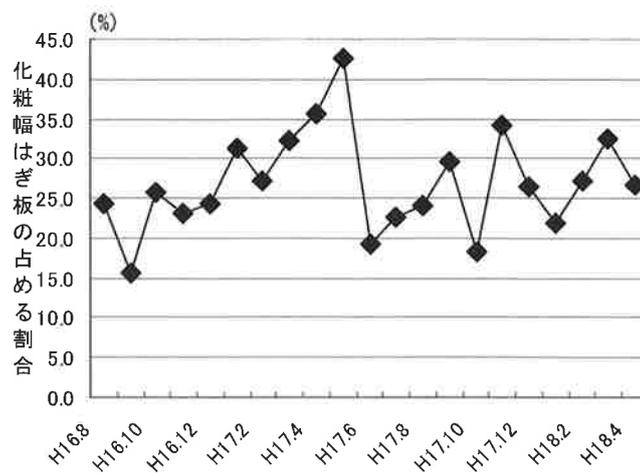


第3-(3)-1図 幅はぎ板の部位別  
生産割合

部位別の割合を計算すると、化粧面用は約25%、中芯用が約30%、裏面用が約45%であった。割合だけで比較すると実際の生産では化粧面用幅はぎ板が不足することになる。結果として化粧面用の幅はぎ板を確保するために必要以上に製材を行わなければならない。節のある裏面・中芯用の幅はぎ板の在庫を過剰に抱えることになる。化粧面用幅はぎ板の月毎の生産割合を調べてみると、化粧面用幅はぎ板の生産割合は月ご

とに大きく変動している（第3-（3）-2図）。化粧用の板の採取割合は、購入している原木の品質に大きく左右されてしまうことから、化粧面用幅はぎ板が欲しい時に、原木を挽いても化粧面に使うことの出来るひき板がなかなか確保できない、化粧板を確保するために大量の丸太を製材する結果、中芯・裏面用板の在庫が増える、という事態が生じることにもなる。

これらの対策としては、化粧面用ラミナを外部の製材工場から購入することが効果的で、これにより主力製品である片面化粧の生産能力の増強、納期の安定化が期待できる。また、化粧用だけではなく下地としての利用方法を積極的に提案し、節の多い裏面・中芯向けの幅はぎ板の販売向上につなげていく必要があると考えられる。



第3-（3）-2図 化粧面用幅はぎ板の月別生産割合

（平成16年8月～平成18年4月）

## 第1章 スギ3層クロスパネル用丸太材及び幅はぎ板の材質と曲げ性能

### 1.1 背景と目的

スギ3層クロスパネルの品質の安定化、生産性の向上のためには、原材料であるスギ丸太材およびそれから製造されたエレメントである幅はぎ板の材質を把握しておくことが重要である。例えば(財)日本住宅・木材技術センターが定める優良木質建材等認証品質性能評価基準(以下、AQ基準)の「床用3層パネル」では、スギ3層クロスパネルの曲げ性能を曲げヤング係数によって等級分けすることになっている<sup>21)</sup>。生産者側には、規格に準じた信頼性の高い製品を生産すること、さらに高い品質の製品を高収率で生産し消費者に提供するため、スギ丸太材や幅はぎ板が現状の生産体制においてどの程度の品質を保持しているのかを明らかにし、日々の生産活動に反映させていくことが求められる。

そこで本章では、スギ3層クロスパネルの原材料の品質を把握することを目的に、鳥取県内産スギ丸太材および幅はぎ板の年輪幅や密度、ヤング係数などの材質について調査した。そしてスギ丸太材及び幅はぎ板の曲げ性能について、AQ基準値との比較により考察した。

### 1.2 材料及び方法

#### 1.2.1 スギ丸太材の材質調査

##### 1.2.1.1 試験地

丸太材に関する試験地は、(株)米子木材市場生山支店(鳥取県日野郡日南町生山)とした(第1-2-1図)。ここでは主に鳥取県日南町産のスギ丸太が取り扱われており、スギ3層クロスパネル(以下、3CLP)の生産にこの市場の丸太が積極的に利用されている。



第1-2-1図 (株)米子木材市場生山支店

### 1. 2. 1. 2 対象とした丸太材の概要

丸太材の調査は、平成 11 年 6 月から平成 12 年 12 月まで、1~2 ヶ月に一度の割合で計 10 回実施した。一回の調査本数は 50 本程度で、合計 569 本を調査した。試験対象とした丸太材の寸法は、3CLP の原材料として多用される、寸法が末口直径 20~40 cm 程度、長さが約 4 m の皮付き丸太とした。なお、番玉については様々である。

### 1. 2. 1. 3 丸太材の材質調査方法

測定項目は、直径、材長、質量、末口年輪数（丸太 266 本分）、末口平均年輪幅（丸太 266 本分）、密度、細り率および動的ヤング係数とした。直径は直径巻尺により樹皮を含めた末口径、中央径、元口径を測定した。長さは鋼尺を用いて、両木口を結ぶ平均的な長さを測定した。丸太の質量は、ロードセルを取り付けたスリングベルトで丸太を皮付きのまま吊して測定した。末口年輪数は、丸太末口の、髄を除いた年輪数とした。密度は、元口・中央・末口直径の平均直径を持つ円柱と仮定して材積を算出し、(1. 1) により算出した。細り率は完満度を表し、元口直径と末口直径の差を材長で割った値とした。

$$\rho = \frac{W \times 1000}{(D/2)^2 \times 3.14 \times L} \quad (1. 1)$$

記号  $\rho$  : 密度 (g/cm<sup>3</sup>)  
W : 質量 (kg)  
D : 元口・中央・末口の平均直径 (cm)  
L : 材長 (cm)

動的ヤング係数は、スリングベルトで吊した状態で木口をハンマーで打撃し、発生した縦振動の固有振動周波数（一次）を FFT アナライザー（リオン（株）製 SA-77）で測定し（第 1-2-2 図）、密度、材長、固有振動周波数から (1. 2) により算出した。

$$E_{fr} = 4 \times \rho \times h^2 \times L^2 \times 10^{-10} \quad (1. 2)$$

記号  $E_{fr}$  : 動的ヤング係数 (GPa)  
 $\rho$  : 密度 (g/cm<sup>3</sup>)  
h : 固有振動周波数 (Hz)  
L : 材長 (cm)



第 1 - 2 - 2 図 丸太材の固有振動周波数測定の様子

## 1. 2. 2 幅はぎ板の材質調査

### 1. 2. 2. 1 幅はぎ板

供試材料である幅はぎ板は、協同組合レングス（鳥取県西伯郡南部町）で製造された、主として辺材で製造された化粧面用と、主として心材で製造された裏面・中芯用の 2 種類とし、幅はぎ板を在庫の中から無作為にそれぞれ 120 枚を抜き取り試験体とした。なお、ひき板は目標含水率 10~12% で人工乾燥が行われており、幅はぎ板を製造する際にはひき板の強度性能や節の配列等は考慮されていない。幅はぎ板の寸法は厚さ 14mm×幅 1,070mm×長さ 2,030mm であった。

### 1. 2. 2. 2 幅はぎ板の材質調査方法

測定項目は密度と曲げヤング係数とした。密度は、質量と寸法から算出した。

曲げヤング係数の測定方法は、スパン 1,700mm の中央集中荷重方式により、初期荷重 98N、後荷重 98N を載荷し、たわみ差から (1. 3) により曲げヤング係数を算出した。

$$MOE = \frac{L^3(F_2 - F_1)}{4bh^3(y_2 - y_1)} \times 10^{-3} \quad (1. 3)$$

記号	MOE: 曲げヤング係数(GPa)
	L: スパン(mm)
	b: 幅(mm)
	h: 厚さ(mm)
	F <sub>1</sub> : 初期荷重(N)
	F <sub>2</sub> : 最終荷重(N)
	y <sub>2</sub> : F <sub>2</sub> に対応するたわみ(mm)
	y <sub>1</sub> : F <sub>1</sub> に対応するたわみ(mm)

### 1. 3 結果及び考察

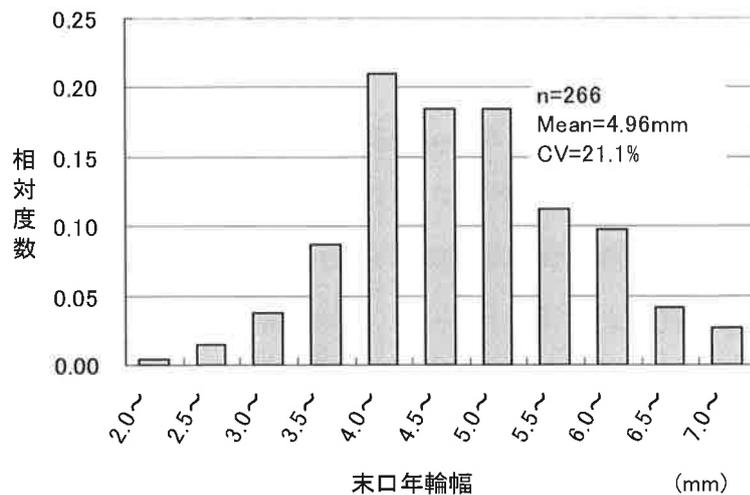
#### 1. 3. 1 スギ丸太材の材質

##### 1. 3. 1. 1 末口直径、末口年輪数、末口年輪幅、密度、細り率

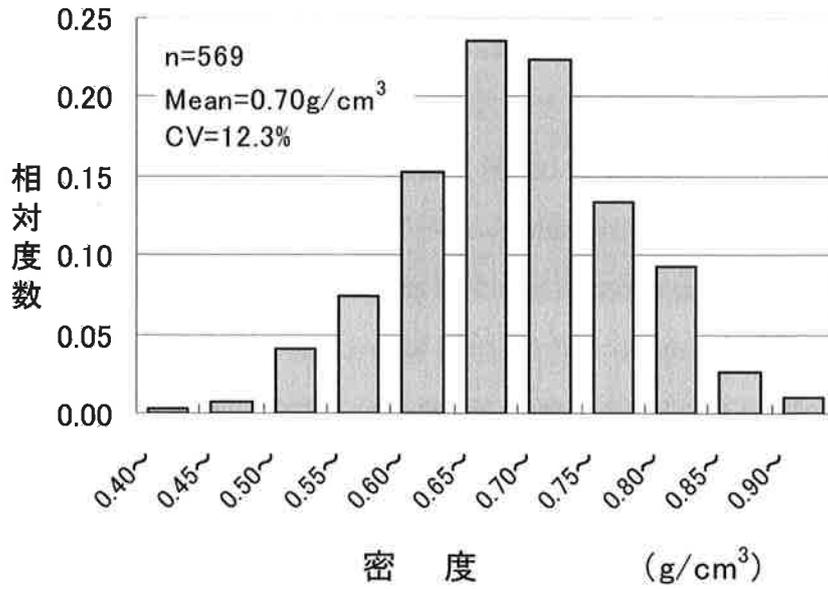
丸太材の直径、末口年輪数、末口年輪幅、密度、細り率等を、第 1-3-1 表、第 1-3-1~1-3-3 図に示す。末口直径は 26.1cm で、地域で産出された直径 20~30cm 程度のいわゆる「中目材」を多く確保できたものと判断した。末口年輪数は、平均値が 27 年で、最小 13 年から最大 62 年まで様々であった。末口年輪幅は平均値が 4.96mm で、最小値が 2.3mm、最大値が 9.1mm（変動係数 21.1%）であった。既往の報告<sup>2 2)</sup><sup>2 3)</sup><sup>2 4)</sup> と比べると、本試験に供した丸太材は肥大成長の良好な丸太材が多く含まれていたと考えられる。生材密度は平均値が 0.70g/cm<sup>3</sup>、最小値が 0.40g/cm<sup>3</sup>、最大値が 0.93g/cm<sup>3</sup>（変動係数 12.3%）であった。細り率は平均値が 0.012（変動係数 35.6%）で、既往の報告<sup>2 4)</sup> と近似していた。

第 1-3-1 表 丸太材の材質

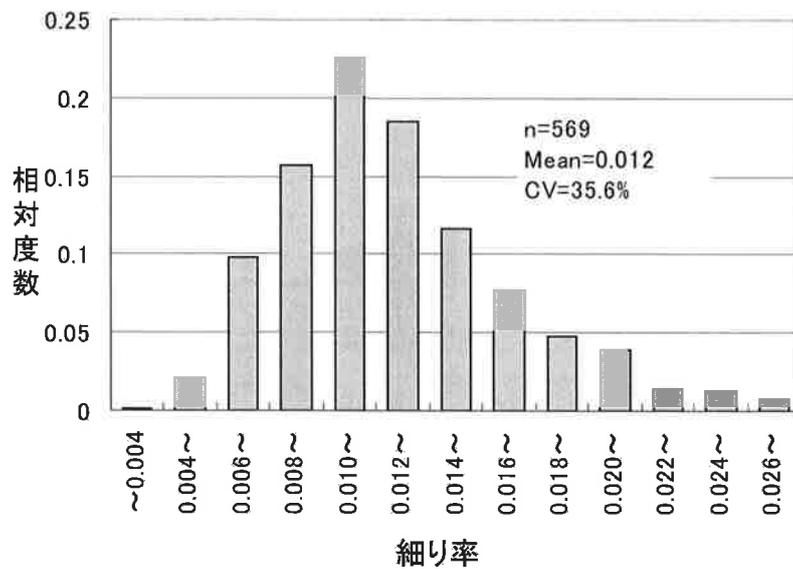
	直径 (cm)			材長 (cm)	重量 (kg)	末口年輪数	末口年輪幅 (mm)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	細り率
	末口	中央	元口						
平均値	26.1	28.2	31.1	413	184	27	4.96	0.70	0.012
最小値	20.1	22.1	24.3	397	77	13	2.30	0.40	0.001
最大値	38.3	41.0	43.2	443	373	62	9.10	0.93	0.030
変動係数(%)	11.3	11.3	11.4	1.83	21.1	24.6	21.1	12.3	35.6
本数	569	569	569	569	569	266	569	569	569



第 1-3-1 図 スギ丸太の末口年輪幅



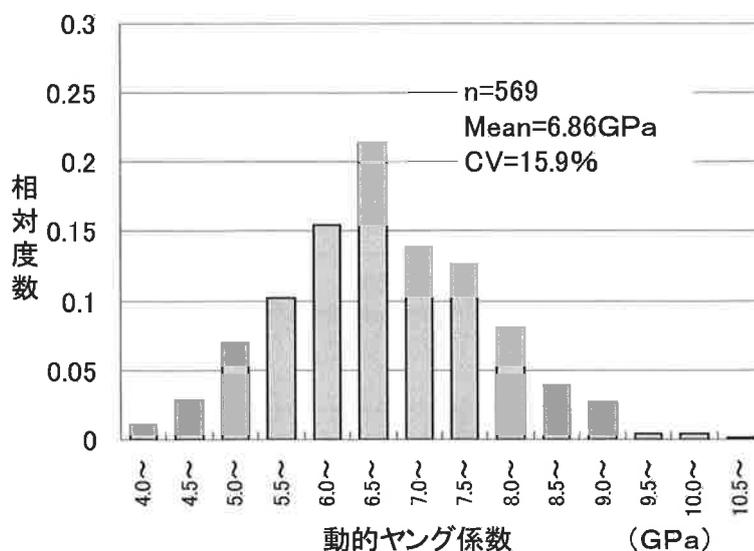
第 1 - 3 - 2 図 スギ丸太材の密度



第 1 - 3 - 3 図 スギ丸太材の細り率

### 1. 3. 1. 2 動的ヤング係数

スギ丸太材の動的ヤング係数の測定結果を第1-3-4図に示す。569本の平均値は6.86GPa、最小値は4.05GPa、最大値は10.8GPa、変動係数は15.9%であった。丸太材の動的ヤング係数は、丸太材を構成する二次木部各部位のヤング係数の平均的な数値である<sup>25)</sup>。さらに乾燥によってヤング係数は増加し、目標含水率12%の場合のヤング係数の増加率は15~20%程度であると報告されている<sup>26)</sup>。これらを参考に、本試験の丸太材から得られるひき板の乾燥後のヤング係数平均値を推定すると、丸太材の動的ヤング係数よりもやや高い7~8GPa程度になると考えられる。また、ひき板のヤング係数は丸太の樹皮側に向かって上昇する傾向にあり、1本の丸太の中でもヤング係数が低い芯持ち材の乾燥後の曲げヤング係数は、丸太の動的ヤング係数の85%程度と報告されている<sup>26)</sup>。これをもとに、本試験で測定した丸太材の動的ヤング係数の最小値4.05GPaおよび最大値10.8GPaから得られる芯持ちひき板の乾燥後の曲げヤング係数を推定すると、それぞれ3.5GPa、9.2GPa程度となる。

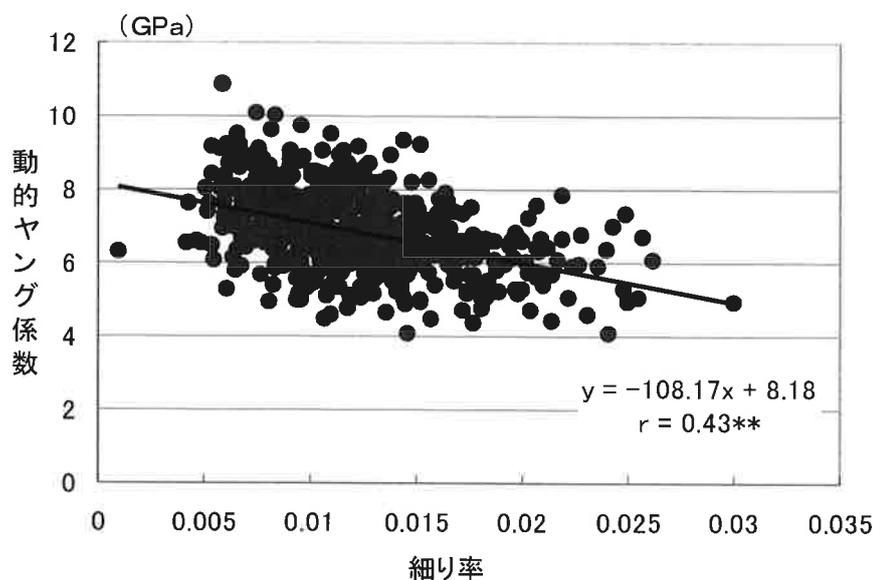


第1-3-4図 スギ丸太の動的ヤング係数

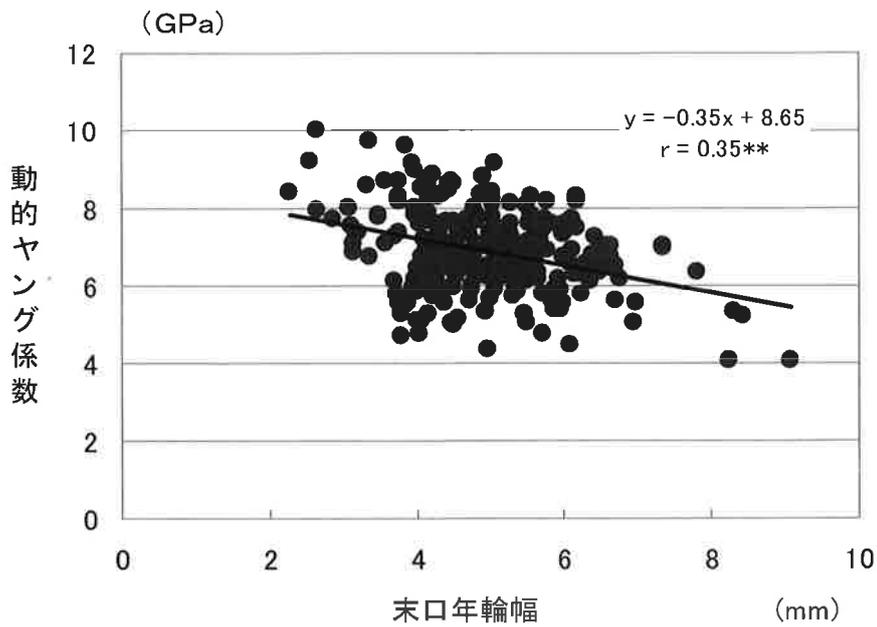
### 1. 3. 1. 3 動的ヤング係数の視覚的指標の可能性

前述の通りスギ丸太材の動的ヤング係数には、4~10GPa程度のばらつきが認められた。仮に市場や工場でスギ丸太材を動的ヤング係数によって選別できれば、必要な

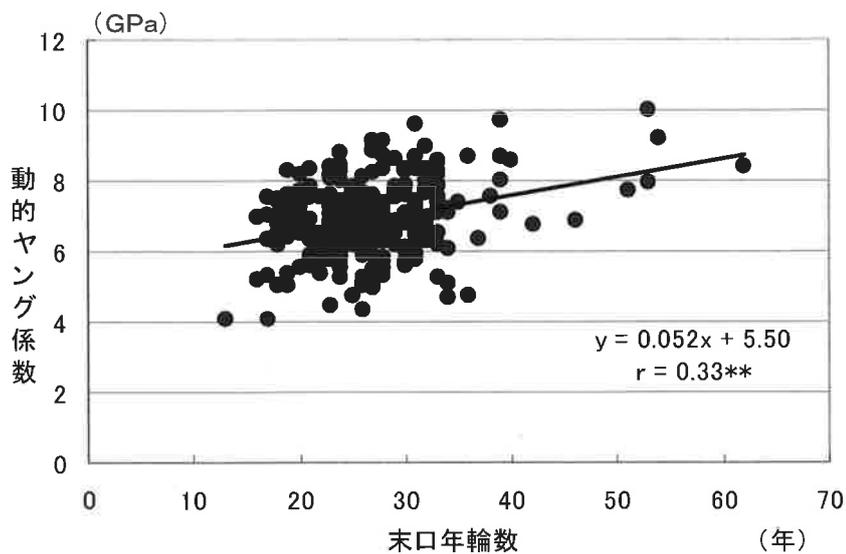
性能を保持した丸太材およびひき板を効率よく入手することが出来る。ただし動的ヤング係数を正確に把握するためには質量や固有振動周波数、寸法の測定のための人手と時間、高価な計測機器を必要とする。これがもし年輪幅や細り率など視覚的指標によって動的ヤング係数の推定が可能であれば、市場での購入の際、目視による判別が可能となり、ロスの少ない丸太材購入が期待できる。そこで鳥取県内産のスギ丸太での、動的ヤング係数と視覚的指標（末口年輪数、末口直径、末口年輪幅、細り率）との相関関係について調べてみた。その結果、動的ヤング係数と危険率1%で有意な相関が認められた因子は、細り率（ $r = -0.43$ ）、末口年輪幅（ $r = -0.35$ ）、末口年輪数（ $r = 0.33$ ）であった（第1-3-5~1-3-7図）。しかしこれらの値は実用に供するほどに高くなく、視覚的指標による丸太の動的ヤング係数を精度良く区分することは難しいと思われる。年輪幅や細り率など視覚的指標による動的ヤング係数の推定についてはこれまでも、小泉らが秋田県産の、荒武らが宮崎県産のスギ丸太を用いて検証しており、本結果とほぼ同じ傾向であったと報告している<sup>24) 27)</sup>。



第1-3-5図 スギ丸太材の細り率と動的ヤング係数の関係



第 1-3-6 図 スギ丸太の末口年輪幅と動的ヤング係数の関係



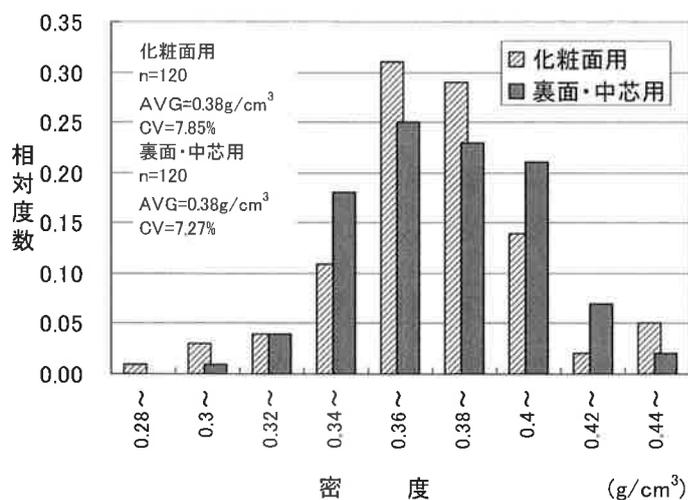
第 1-3-7 図 スギ丸太材の末口年輪数と動的ヤング係数の関係

### 1. 3. 2 幅はぎ板の材質

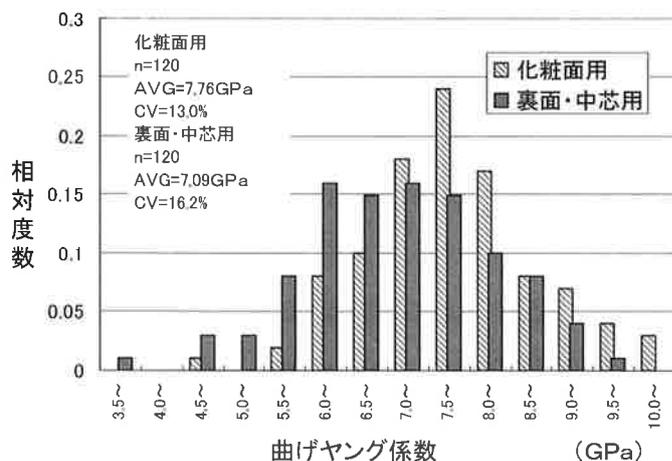
#### 1. 3. 2. 1 密度及び曲げヤング係数

幅はぎ板の密度について第 1-3-8 図に示す。化粧面用、裏面・中芯用ともに、平均値が  $0.38\text{g/cm}^3$  と同じで、変動係数もほぼ近似していたが、裏面・中芯用は  $0.40\text{g/cm}^3$  以上がやや多かった。

次に幅はぎ板の曲げヤング係数の測定結果を第 1-3-9 図に示す。化粧面用幅はぎ板の曲げヤング係数は、平均値 7.76GPa、最小値 4.91GPa、最大値 10.31GPa、変動係数は 13.0%であった。また、裏面・中芯用幅はぎ板の曲げヤング係数は、平均値 7.09GPa、最小値 3.54GPa、最大値 9.60GPa、変動係数 16.2%であった。この結果を丸太材の動的ヤング係数の測定結果および既往の報告から算出した前述（1. 3. 1. 2）の推定値と比較すると、今回測定した幅はぎ板の曲げヤング係数は、この地域の丸太材の動的ヤング係数を良く反映しているといえる。幅はぎ板の現



第 1-3-8 図 幅はぎ板の密度の分布



第 1-3-9 図 幅はぎ板の曲げヤング係数の分布

在の製造方法は、一本の丸太から製材されたひき板が幅はぎ工程まで連続してラインを流れる。したがって丸太の強度性能のばらつきが幅はぎ板の強度性能のばらつきに反映され易いと考えられる。

### 1. 3. 3 AQ基準値から見た丸太材及び幅はぎ板の曲げ性能の評価

AQ 基準において、床用 3 層パネルの曲げ性能は E40 (平均値  $40 \times 10^3 \text{N/mm}^2$ 、下限値  $30 \times 10^3 \text{N/mm}^2$ ) から設定されている (第 1-3-2 表)。(1. 3. 2. 1) の結果のとおり、化粧面用および裏面・中芯用幅はぎ板の曲げヤング係数平均値は 7GPa を超えていた。また、丸太材の曲げヤング係数から推定した乾燥後のひき板の曲げヤング係数および幅はぎ板の曲げヤング係数の測定結果では、最小値が 3.5GPa 程度と

想定され、仮にこの幅はぎ板が製品の裏面用として配置されても、E40における下限値  $30 \times 10^3 \text{N/mm}^2$  をクリアする可能性はきわめて高い。鳥取県内産のスギ丸太あるいは幅はぎ板を、曲げ性能による選別を行わずに 3CLP を生産しても、AQ 曲げ性能基準をクリアすることは十分可能である。ただし E40 は最低ランクであり、無選別でどの等級の製品が生産できるのかについては、実際のラインで生産された 3CLP の曲げ性能を調査する必要がある。また、必要とする曲げ性能を保持した製品を効率よく確保するためには、ひき板や幅はぎ板、製品での選別・管理が必要であることは言うまでもない。

第 1-3-2 表 AQ における 3CLP の曲げ性能区分

	曲げヤング係数 ( $10^3 \text{N/mm}^2$ )	
	平均値	下限値
<b>E等級</b>		
<b>E125</b>	125	100
<b>E110</b>	110	90
<b>E100</b>	100	80
<b>E90</b>	90	70
<b>E80</b>	80	65
<b>E70</b>	70	55
<b>E60</b>	60	50
<b>E50</b>	50	40
<b>E40</b>	40	30

#### 1. 4 要約

スギ 3 層クロスパネル (3CLP) の原材料の品質を把握することを目的に、鳥取県内産スギ丸太材および幅はぎ板の年輪幅や密度、ヤング係数などの材質について試験したところ、以下のことが明らかとなった。

(1) スギ丸太材の動的ヤング係数の平均値は 6.86GPa であった。これらの丸太材から得られるひき板の乾燥後のヤング係数平均値は、丸太材の動的ヤング係数よりもやや高い 7~8GPa 程度になることが推察された。

(2) 動的ヤング係数と視覚的指標 (細り率、末口年輪幅、末口年輪数) との間には有意な相関関係が認められたが、実用に供するほどには高くなく、視覚的指標による丸太の動的ヤング係数の区分は困難であろう。

(3) 幅はぎ板の曲げヤング係数は、平均値について化粧面用が 7.76GPa 裏面・中芯用が 7.09GPa、最小値について化粧面用が 4.91GPa、裏面・中芯用が 3.54GPa であった。幅はぎ板を曲げ性能による選別を行わずに 3CLP を生産しても、AQ (優良木質建材等認証品質性能評価基準) の曲げ性能基準値を上回することは十分可能である。

## 第2章 スギ3層クロスパネルの住宅用部材としての材質と強度特性

### 2.1 背景と目的

スギ3層クロスパネルはスギ材の有効利用の一つとして開発され、スギの柔らかな質感を残しつつ、面材にすることで施工性にも優れた製品として、建築・木材関係者から高い注目を集めている。国内で開発、実用化されてから10年程度が経過し、現在では「床用3層パネル」としてAQ規格が整備<sup>2,8)</sup>され、公的な認証制度のもと今後のさらなる需要拡大が期待されている。今後、消費者の多様なニーズに応え、かつ、スギの面材としての利用及び技術開発を進展させていくためにも、地域産材を活用したスギ3層クロスパネルの基本性能を把握しておくことが極めて重要である。

中でも重要な性能の一つが曲げ性能である。第1章で述べたとおり鳥取県産スギ材は、スギ3層クロスパネルをそれで作ればAQ基準の曲げ性能をクリアさせることが出来る原材料である。しかしスギ3層クロスパネルが、実際にどの程度の曲げ性能(曲げヤング係数、曲げ強さ)を有しているのか、そして、密度や節等の材質が曲げ性能にどのような影響を与えているのかについては明らかにされていない。スギ3層クロスパネルの住宅における主な使用箇所は床や壁での構造部材(水平、垂直構面)としての利用であり、物理的特性の代表的指標である曲げ性能を明らかにすることは、スギ3層クロスパネルの構造的利用を推進する上で極めて有効である。

そこで本章では、鳥取県内で製造、販売されているスギ3層クロスパネルの住宅用部材としての材質ならびに強度特性を明らかにすることを目的として、パネル単体の密度や節径、曲げヤング係数、曲げ強さなどを調べ、その特徴について検証した。

### 2.2 材料及び方法

#### 2.2.1 供試材料

試験に供したスギ3層クロスパネル(以下、3CLP)は、協同組合レングス(鳥取県西伯郡南部町)で生産されている、幅910mm×長さ1,820mm×厚さ36mmの市販製品(片面化粧)とし、生産日の違うロットの中から任意に抜き取った100枚を試験体とした。

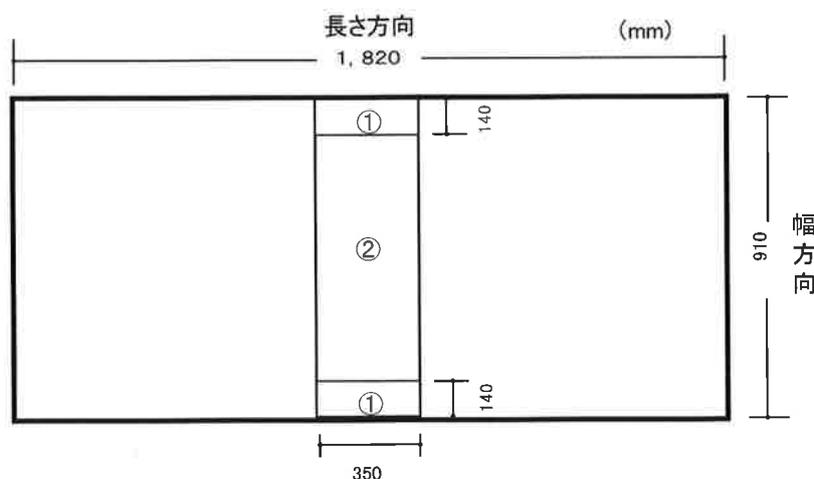
## 2. 2. 2 試験方法

### 2. 2. 2. 1 AQ基準における試験・検査項目

3CLPの品質性能評価基準は、AQ基準「床用3層パネル」<sup>28)</sup>に規定されている。この中では試験・検査項目として、①はく離試験、②曲げ試験、③含水率試験、④欠点測定、⑤加工精度測定、⑥寸法測定が規定されている。本研究では材質調査についてAQの「欠点測定」を、曲げ性能について「曲げ試験」を参考に試験を実施することにした。

### 2. 2. 2. 2 材質調査

材質調査は密度と節径とし、密度については100体、節径については50体について調査した。密度は試験体の寸法と質量により算出した。節径は、心材が使用してあり節が多数存在するパネルの裏面を測定した。3CLPにおけるパネル裏面の節径の評価は、AQ基準で「利用上支障のないものであること」とされており<sup>28)</sup>、基準となる数値は定められていない。そこで本研究では、試験体の長さ方向の中央350mm区間に存在する節を対象とし、試験体の幅方向と平行な方向を節径としてJIS1級鋼尺を用いて測定した。測定結果からこの区間における節径の最大値(以下、Kmax)、試験体の長さ方向の材端部から内側に140mmの範囲にある節の最大値(以下、Cmax)、中央350mm区間に存在する節径を合計した値(以下、Ksum)を求めた(第2-2-1図)。



Kmax: 範囲①と範囲②に存在する節のうち最大径  
Cmax: 範囲①に存在する節のうち最大径  
Ksum: 範囲①と範囲②に存在する節径の合計

第2-2-1図 3CLP裏面の節の測定箇所

### 2. 2. 2. 3 曲げ性能試験

3CLP の曲げ性能試験は、AQ 基準の試験項目「曲げ試験」<sup>28)</sup>に規定されており、曲げヤング係数(以下、MOE)によって評価される。これによると試験方法は、スパン 1,700mm(スパン方向と主繊維方向との角度が 0°)の中央集中荷重とし、初期荷重と最終荷重載荷によるたわみ量の差から MOE を算出することとされている。そこで本研究ではこの規格に準じて試験を行うこととし、初期荷重 490N、最終荷重 980N 載加時のたわみ量の差から、(2. 1)により MOE を算出した。

一方、曲げ強さ(以下、MOR)は AQ 基準で評価を求められていない。そこで本研究では、AQ と同じ試験条件、すなわちスパン 1,700mm の中央集中荷重で曲げ破壊試験を行うこととした。試験機は実大強度試験機((株)島津製作所製 オートグラフ AG-100kNG)を用いた。加重速度 5mm/min で 3CLP が破壊するまで負荷し、得られた試験結果から MOE と MOR を(2. 1)および(2. 2)により算出した。

$$\text{MOE(GPa)} = \frac{L^3 \times (F_2 - F_1) \times 10^{-3}}{4 \times b \times h^3 \times (y_2 - y_1)} \quad (2. 1)$$

$$\text{MOR(MPa)} = \frac{3 \times P_{\text{max}} \times L}{2 \times b \times h^2} \quad (2. 2)$$

記号 L: スパン(mm)  
F<sub>1</sub>: 初期荷重(N)  
F<sub>2</sub>: 最終荷重(N)  
b: 幅(mm)  
h: 厚さ(mm)  
y<sub>1</sub>: F<sub>1</sub>に対応するたわみ量(mm)  
y<sub>2</sub>: F<sub>2</sub>に対応するたわみ量(mm)  
P<sub>max</sub>: 最大荷重(N)

## 2. 3 結果及び考察

### 2. 3. 1 材質調査および曲げ性能試験結果

3CLP の材質調査および曲げ性能試験の結果を第 2-3-1 表および第 2-3-2 表に示す。密度は平均 0.41g/cm<sup>3</sup>であり、0.36~0.46g/cm<sup>3</sup>の範囲にあった。また K<sub>max</sub>、C<sub>max</sub>、K<sub>sum</sub> の平均値はそれぞれ 34、23、94mm であった。節の数は平均 15 個で、1~29 個までばらついていた。

次に MOE、MOR、P<sub>max</sub> の平均値はそれぞれ 7.85GPa、41.9MPa、19.9KN であった。MOE、MOR の結果について、3CLP と比較的厚さの近い 35mm 厚さのラジアータパイプ合板およびラーチ合板の曲げ性能<sup>29) 30)</sup>と比較すると(第 2-3-3 表)、試験方法や寸法に違いはあるが、MOE は両者の中間で MOR はこれらの製品を上回っていた。

第2-3-1表 3CLPの材質

	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	Kmax (mm)	Cmax (mm)	Ksum (mm)	節の数 (個)
平均値	0.41	34	23	94	15
最大値	0.46	68	55	210	29
最小値	0.36	11	0	11	1
標準偏差	0.02	13	12	38	7
試験体数	100	50	50	50	50

節は中央350mmの範囲に存在するものを対象とした。

第2-3-2表 3CLPの曲げ性能試験

	MOE (GPa)	MOR (MPa)	Pmax (KN)
平均値	7.85	41.9	19.9
最大値	9.84	54.6	26.0
最小値	5.12	28.5	13.2
標準偏差	0.99	5.31	2.59
試験体数	100	50	50

第2-3-3表 3CLPとラジアータ<sup>29)</sup>パイン合板、ラーチ合板の曲げ性能の比較

	公称厚さ (mm)	MOE (GPa)	MOR (MPa)
3CLP	36	7.85 (0.99)	41.9 (5.31)
ラジアータパイン合板 <sup>29)30)</sup>	35	5.57 (0.72)	22.0 (2.57)
ラーチ合板 <sup>29)30)</sup>	35	9.60 (1.08)	34.8 (5.84)

カッコ内は標準偏差

クロスパネルの試験は、中央集中荷重

合板の試験は、構造用合板JASの1級試験方法に準拠

### 2. 3. 2 AQ曲げ性能基準によるスギ3層クロスパネルの格付け

AQ基準では、MOEの平均値と下限値による等級付けがなされている(第2-3-4表)。本研究結果をこの基準値に当てはめると、平均値はAQ区分E70( $70 \times 10^3 \text{N/mm}^2$ )相当であった。前章で、鳥取県産スギ丸太材及び幅はぎ板の曲げヤング係数について調べ、鳥取県産材からは平均値で7~8GPaの曲げヤング係数を有したひき板を確保できることを明らかにしたが、3CLPのMOEによるAQ格付け結果と比較すると、この格付け結果はひき板のMOEを良く反映していると言える。一方下限値はE60( $50 \times 10^3 \text{N/mm}^2$ )相当で、E70の下限値( $55 \times 10^3 \text{N/mm}^2$ )を上回ることは出来なかった。

したがって、現在生産されている 3CLP を AQ 曲げ性能基準によって格付けすると、下限値から E60 相当に格付けされることがわかった。現在の製造ラインでは、丸太材やひき板の強度性能による選別は行なわれていないことから、今後スギを原材料にした 3CLP の生産でより高い格付けを目指す場合、生産工程で MOE による選別を行ない、MOE の低い幅はぎ板は中芯用にとして使うなどの工夫が必要である。また、3CLP 完成後に MOE を検査・選別し、ロット毎の品質を確保していくことが必要と考えられる。

### 2. 3. 3 材質と曲げ性能の関係

3CLP の材質と曲げ性能の関係について第 2-3-5 表、第 2-3-1~2-3-3 図に示す。MOE と MOR には高い正の相関関係( $r=0.72$ 、1%有意水準)が認められ、MOE が MOR の指標になり得る。また密度と MOE( $r=0.51$ )、密度と MOR( $r=0.39$ )の間にも正の相関関係(1%有意水準)が認められた。

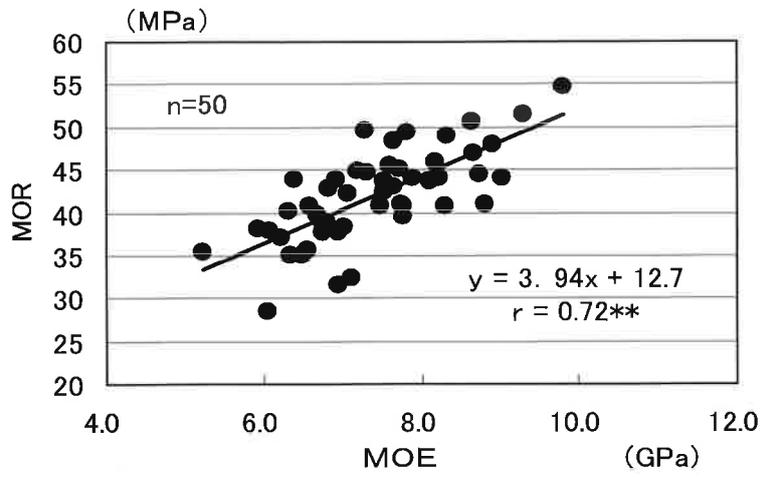
第 2-3-4 表 AQ における曲げヤング係数による格付け

	曲げヤング係数 ( $10^3\text{N/mm}^2$ )	
	平均値	下限値
E等級		
E125	125	100
E110	110	90
E100	100	80
E90	90	70
E80	80	65
E70	70	55
E60	60	50
E50	50	40
E40	40	30

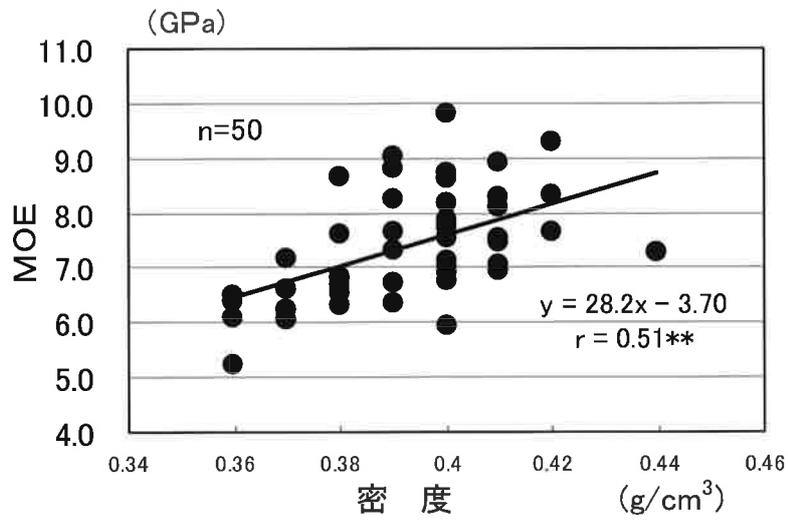
第 2-3-5 表 3CLP の材質と曲げ性能の関係

	MOE	MOR
MOE	—	—
MOR	0.72**	—
密度	0.51**	0.39**
Kmax	-0.15	-0.21
Cmax	-0.12	0.01
Ksum	-0.17	-0.35*

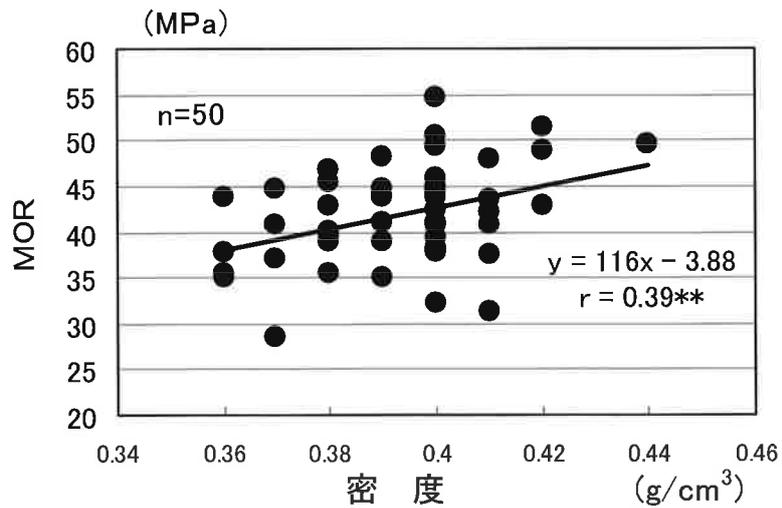
\*\*は1%有意水準で、\*は5%有意水準でそれぞれ有意であることを示す



第 2 - 3 - 1 図 3 C L P の M O E と M O R の 関 係

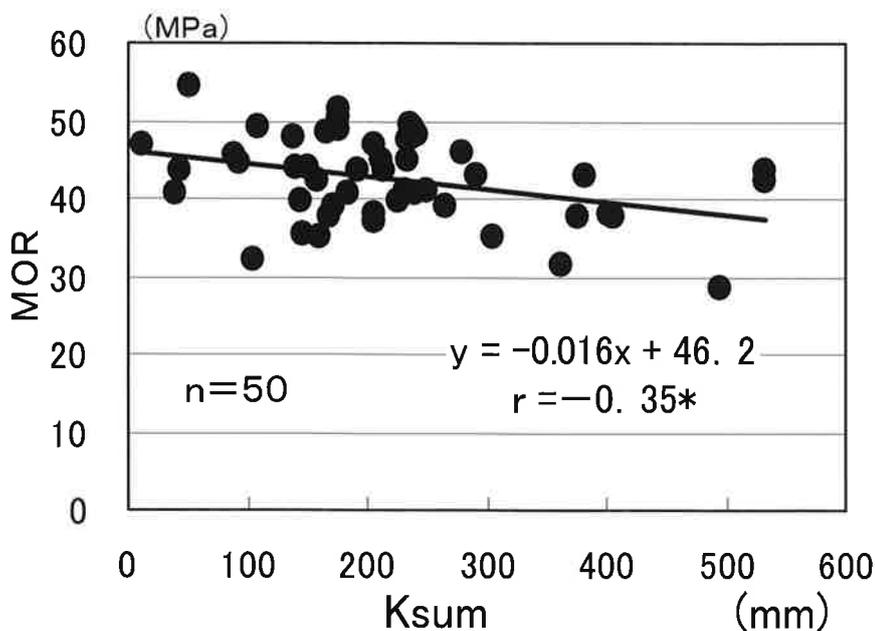


第 2 - 3 - 2 図 3 C L P の 密 度 と M O E の 関 係



第 2 - 3 - 3 図 3 C L P の 密 度 と M O R の 関 係

一方、節径と MOE、MOR の相関関係は、Ksum と MOR で負の相関関係( $r=-0.35$ 、5%有意水準)が認められた(第 2-3-5 表、第 2-3-4 図)。3CLP の現行の生産では、製材から幅はぎまで、同一丸太のひき板が連続してラインを流れる仕組みになっているため、節が幅はぎ板の幅方向に連続して並ぶことがしばしば認められる(第 2-3-5 図)。Ksum と MOR において負の相関が認められたことは、このような節の配置が 3CLP の曲げ性能に影響を与える可能性があることを示唆している。このことを改善するためには、幅はぎ板製造時に複数の丸太から得られたひき板を混合して、幅方向に節が連続しないように配慮することが有効である。これ以外の、材質と曲げ性能の相関関係については有意性が認められなかった(第 2-3-5 表)。本研究では 3CLP 裏面の、長さ方向の中央 350mm 区間に存在する節を対象として解析を行った。今後、区間の長さを変えたり、節径の測定項目に集中節を加えるなどによって、3CLP における曲げ性能と節との関係を明らかにし、生産技術や品質の向上につなげていくことも必要であろう。



第 2-3-4 図 K s u m と M O R の 関 係



第 2 - 3 - 5 図 幅はぎ板製造時の節の配列状況

## 2. 4 要約

スギ3層クロスパネルの住宅用構造部材としての強度特性を明らかにすることを目的として、パネル単体の密度や節径、曲げ性能などを調べ、その特徴について検証したところ、以下のことが明らかとなった。

(1) スギ3層クロスパネルの曲げ性能(スパン方向と主繊維方向との角度が  $0^{\circ}$ )は MOE、MOR ともに 35mm 厚の既存の針葉樹合板と同等以上の性能を示した。また本ロットを AQ 基準に準じて格付けしたところ、MOE 下限値から E60 相当であった。

(2) スギ3層クロスパネルの MOE と MOR の間には高い正の相関関係が認められた。一方、Ksum (中央 350mm 区間における節径の合計) と MOR の間に負の相関関係が認められ、幅はぎ板製造における幅方向での節の連続が曲げ性能に影響を与えている可能性が示唆された。

## 第3章 スギ3層クロスパネルの住宅用下地材としての温熱特性

### 3.1 背景と目的

スギ3層クロスパネルの住宅用部材としての用途は、表面化粧用と下地用に大別することが出来る。化粧用は意匠性と耐力部材を兼ねた製品で付加価値も高い。一方、下地用は節の多い心材の有効利用を図ることが出来る製品であるが、合板やパーティクルボード等、他の木質材料との厳しい競合にさらされていることから、スギ3層クロスパネルの下地材としての魅力を引き出すための利用技術に関する提案が急務とされている。

ところで、近年の住宅では保温性が重要視されている。保温性能の向上により快適な室内空間の確保や省エネルギー効果が期待できることから、保温には様々な工夫が施されるようになった。一方、空調設備も充実し、特に床暖房が注目を集めている。これは高齢化を一つのキーワードとして、健康や安全に配慮した快適な家造りに注目が集まっているためと考えられる。市場には様々な種類の施工システムが提案されている<sup>3)1)</sup><sup>3)2)</sup>が、床暖房では通常、下地材に12mm厚さの合板を使用し、その裏面に断熱材を貼り付けることが一般的である。床暖房システムは今後も堅調な伸びが期待できることから、スギ3層クロスパネルの需要拡大のためにはこの分野への参入を視野に入れたデータの蓄積が急務である。

そこで本章では、スギ3層クロスパネルの36mmという厚さに着目し、住宅用下地材としての温熱特性、特に保温性能と加温に要した電力量についての知見を得ることを目的として、床暖房システムを想定した小試験体によるモデル試験を行った。

### 3.2 材料及び方法

#### 3.2.1 供試材料

試験に供した下地材の概要を第3-2-1表に示す。スギ3層クロスパネル（以下、3CLP）は、鳥取県産スギ材のうち、心材を多く含み生節が存在する市販の下地用製品を用いた。スギ板（以下、sugi）は、合板が普及する以前から下地材として利用されており、本試験では3CLPを構成する12mm厚さの幅はぎ板を用いた。合板（以下、PW）は、現在の戸建住宅で使用されている最も一般的な下地材の一つであり、本試

験では厚さが 12mm の J A S 製品（構造用 2 級 ロシアカラマツ）を用いた。パーティクルボード（以下、PB）は、近年集合住宅の床下地材として多用されており、本試験では厚さが 20mm の JIS 置床用を用いた。

第 3 - 2 - 1 表 下地材の概要

項 目		3CLP	sugi	PW	PB
寸法 (mm)	縦	300	300	300	300
	横	300	300	300	300
	厚さ	36	12	12	20
質量	平均値 (g) <sup>*1</sup>	1383	423.1	630.2	1288
	標準偏差	30.4	23.9	12.8	9.0
熱伝導率(W/m・K) <sup>*2</sup>		0.12 <sup>*3</sup>	0.12 <sup>*3</sup>	0.16	0.15
熱貫流率(W/m <sup>2</sup> ・K)		1.667	2.500	2.667	2.308

\*1 n=3

\*2 (財)住宅金融普及協会発行「木造住宅工事共通仕様書」  
数値

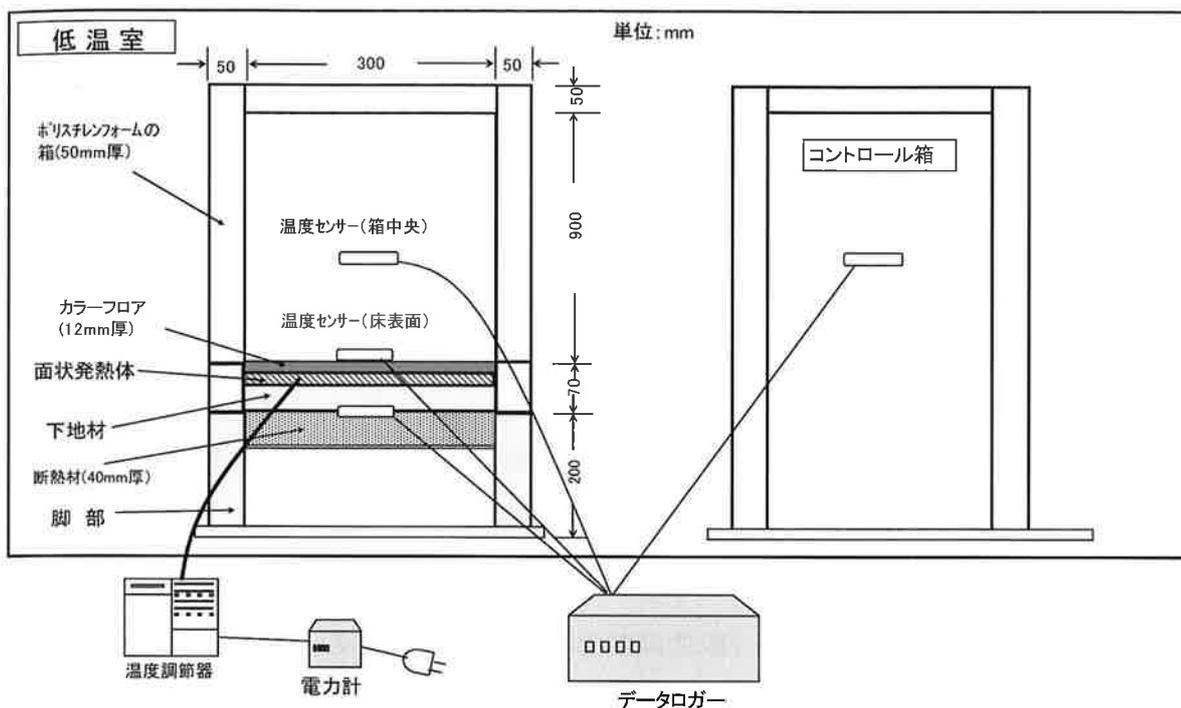
\*3 (財)住宅金融普及協会発行「木造住宅工事共通仕様書」  
付録のうち、天然木材1類の値を使用

各試験体は購入後 1 ヶ月以上常温室内にて静置した。その後、幅と厚さを 300mm の正方形に 3 枚加工し質量を測定した。質量を熱容量と置き換えると、熱容量は 3CLP、PB、PW、sugi の順に大きいことがわかる。また熱貫流率は、3CLP、PB、sugi、PW、の順に小さい。

### 3. 2. 2 試験方法

#### 3. 2. 2. 1 試験装置の作製

試験装置の作製および設置方法を第 3-2-1 図、試験体の組み合わせを第 3-2-2 表に示す。まず、下地材の上に面状発熱体（200×200mm、アズワン（株）製）を置き、その周囲に発熱体と厚さがほぼ同じポリプロピレン製のシートを敷いた。さらにその上に 12mm 厚さのカラーフロア（複合 1 種フローリング）を敷設した。さらに既存の床暖房で一般的に用いられている施工を想定し下地材の裏に断熱材（押出法ポリスチレンフォーム保温板 1 種 40mm 厚）を貼り付けた。一体となったこれら試験体は、住宅の基礎部分を想定した高さ約 200mm の脚部の上に置き、さらにその上に、断熱材（押出法ポリスチレンフォーム保温板 1 種 50mm 厚）で作製した内法寸法 300(W)×300(T)×900(H)の箱で囲った。



第3-2-1図 試験装置の概要

第3-2-2表 試験体の組み合わせ

	断熱材無し				断熱材有り			
床材	複合1種フローリング(12mm厚)				複合1種フローリング(12mm厚)			
下地材	3CLP	sugi	PW	PB	3CLP	sugi	PW	PB
断熱材	無し				押出式ポリスチレンフォーム1種(40mm厚)			

温度センサーは、箱の中心部（以下、箱中央）、表面材中央部（以下、床表面）、下地材裏に設置した。なお、床表面と下地材裏への温度センサーの貼付には、医療用サージカルテープを用いた。面状発熱体は温度調節器（アズワン（株）製 TJA-550）と接続し、さらに電力量を測定するために小型電力計（（株）システムアートウェア製ワットアワーメーターSHW3A）を接続した。

試験装置は、冬季を想定した実験が同一環境で繰り返し行えるよう、大型低温室（三洋電機（株）製プレハブ冷却ユニット PCU-S200M）内に設置し、室内の温度を 5℃ に設定して試験を行った。

### 3. 2. 2. 2 温度及び電力量の測定方法

面状発熱体の温度は 50℃ 一定とし、8 時間加熱した。温度計測は加熱開始から 3 分

間隔とし、加熱停止後 6℃を下回るまで継続して実施した。1条件当たりの繰り返し回数は3回とし、平均値をその試験体の温度とした。

電力量は、8時間加熱した時点の積算電力量とし、3回測定した平均値を各試験体の値とした。また、測定した内の2回分については、加熱開始から2時間おきに電力量を計測した。

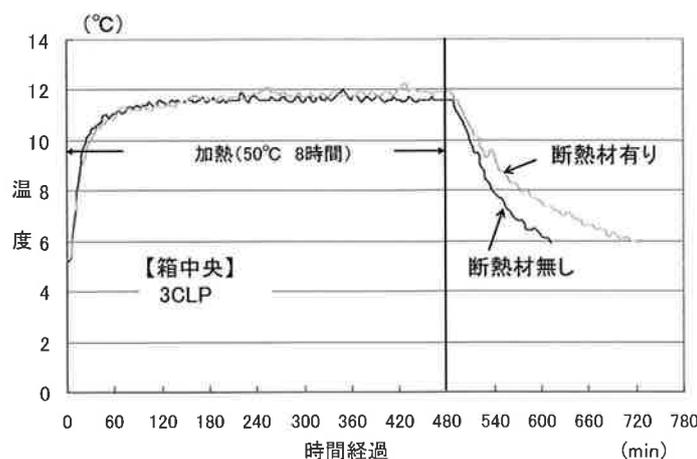
### 3. 3 結果及び考察

#### 3. 3. 1 スギ3層クロスパネルを下地材にした場合の温度変化

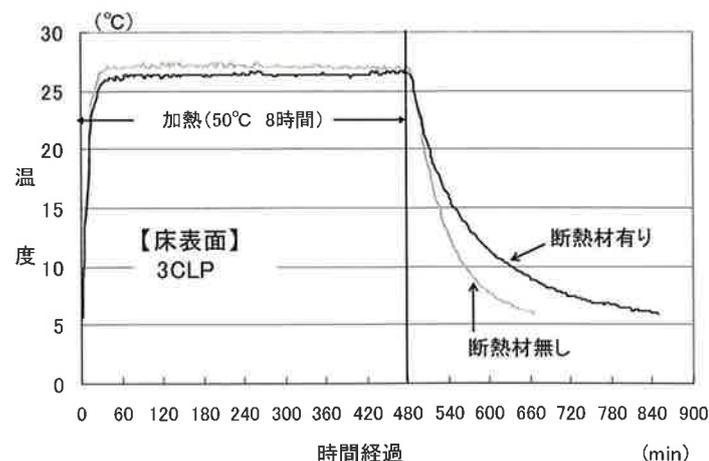
3CLPを下地材にした場合の箱中央及び床表面の温度変化について第3-3-1図および第3-3-2図に示す。箱中央及び床表面の温度は加熱開始直後から急激に上昇し、60分前後で箱内温度は約11~12℃、床表面温度は26~27℃に達し、その後は加熱停止

止まではほぼ一定の温度を維持した。床表面の適正温度は25~30℃くらい<sup>3.2)</sup>、足の皮膚温が不快に感じる温度は約23℃<sup>3.3)</sup>以下とされており、本試験条件は床表面を適正範囲内に維持することが出来た。

8時間経過後に加熱を停止すると、停止から15分程度は断熱材の有無に関わらずほぼ同じ温度低下の傾向を示したが、その後、「断熱材無し」の方が「断熱材有り」よりも早く温度低下が進んだ。断熱材の敷設が保温性能の向上に寄与していることがわかる。



第3-3-1図 3CLP試験体の温度変化(箱中央)



第3-3-2図 3CLP試験体の温度変化(床表面)

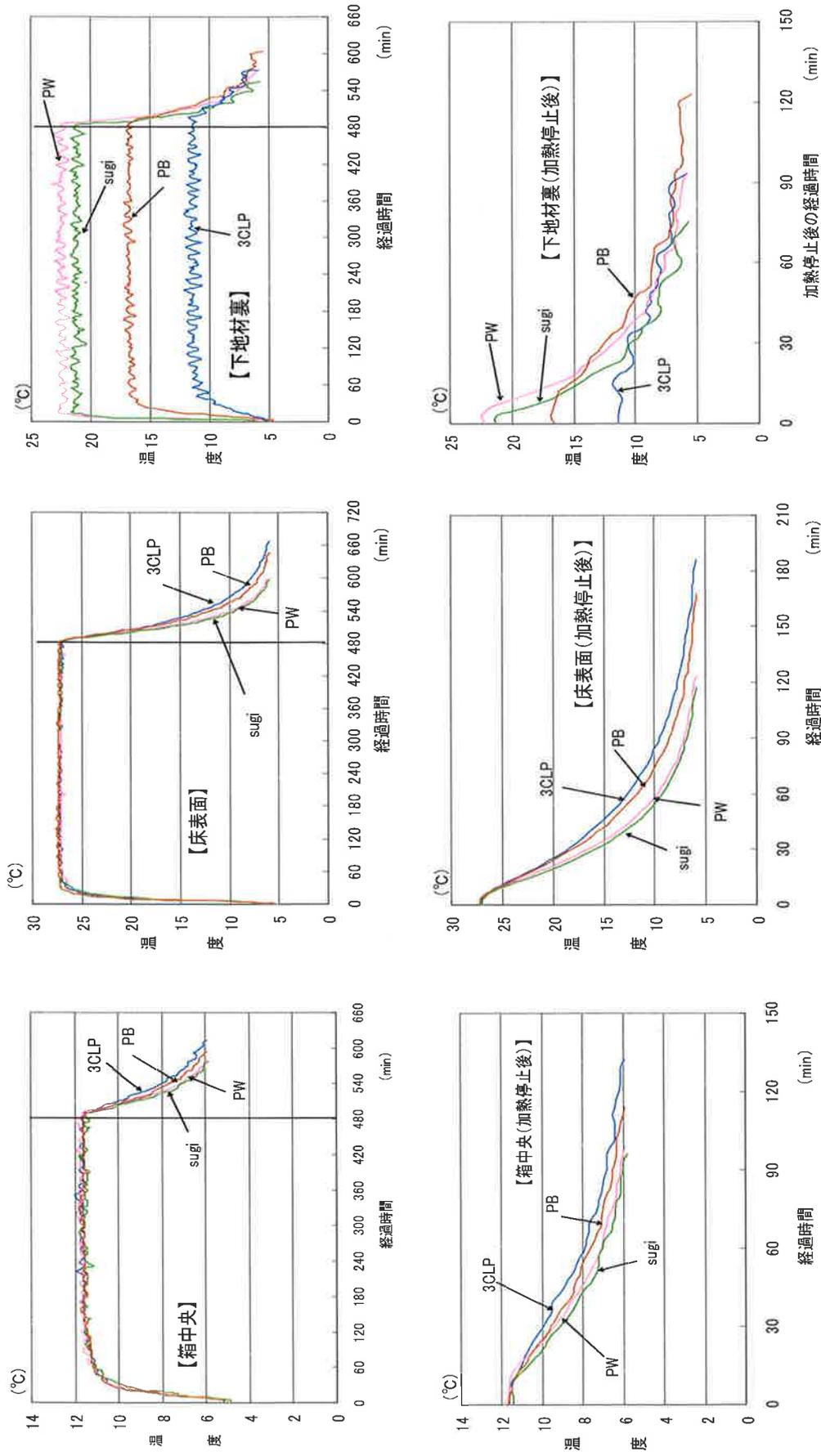
### 3. 3. 2 各下地材における温度変化と電力量の特徴

#### 3. 3. 2. 1 断熱材無しの場合の温度変化

「断熱材無し」の場合における箱中央、床表面、下地材裏の温度変化を第 3-3-3 図に示す。

箱中央の温度について、加熱中の温度は、全ての試験体が 11~12℃で推移した。加熱を停止すると、20 分位は全ての試験体がほぼ同じ温度の低下傾向を示したが、その後温度差が生じ始めた。加熱停止から 6℃を下回るまでに要した時間は sugi が 93 分、PW が 99 分、PB が 114 分、3CLP が 132 分で、3CLP の温度低下が最も緩やかであった。

次に床表面温度は、全ての試験体で加熱開始から 30 分程度で約 27℃になり安定した。加熱を停止すると、約 10 分後に sugi と PW の、約 30 分後に PB の温度が、3CLP より早く低下し始めた。加熱停止から 6℃を下回るまでに要した時間は、sugi が 117 分、PW が 123 分、PB が 165 分、3CLP が 186 分であった。また、3CLP と他の下地材との最大温度差は、PB で 1.0℃、PW で 2.9℃、sugi で 3.5℃であった。下地材裏の温度は、加熱開始から 20 分程度で sugi が約 21℃、PW が約 22℃、約 40 分で PB が約 16.5℃、約 60 分で 3CLP が 11℃前後となり安定した。加熱停止後は PW と sugi の温度が急激に低下する一方、3CLP の温度低下は緩やかで、3CLP が 6℃を下回ったのは、PW と同じ 93 分であった。断熱材の無い試験体は下地材の裏面が露出しており、熱貫流率が高い下地材ほど外気に熱を放出しやすい。したがって加熱停止後の箱中央や床表面の温度は、熱貫流率の高い下地材ほど速やかに低下したと考えられる。3CLP は今回用いた下地材の中で熱貫流率が最も低く（第 3-2-1 表）、保温に最も効果的な材料と推測できたが、モデル実験でもそのことを確認することが出来た。



第 3 - 3 - 3 図 各下地材における箱中央・床表面・下地材裏面の温度変化（断熱材無し）

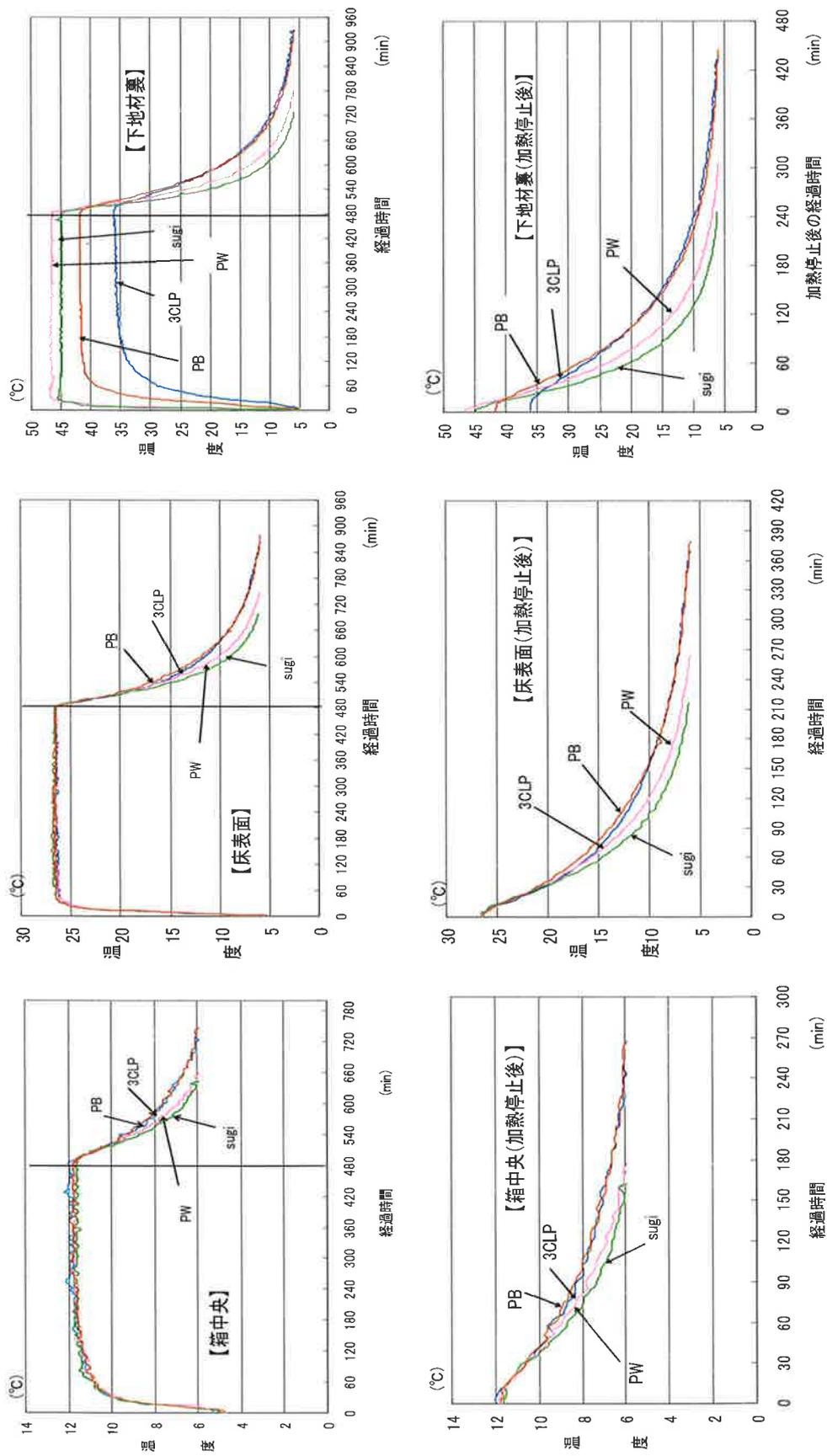
### 3. 3. 2. 2 断熱材有りの場合の温度変化

「断熱材有り」の場合における箱中央、床表面、下地材裏の温度変化を第 3-3-4 図に示す。

箱中央の温度について、加熱中は全ての試験体が 11~12℃で推移し、下地材の違いによる温度差は認められなかった。加熱を停止すると、3CLP と PB の温度低下は PW と sugi に比べ緩やかであった。加熱停止から 6℃を下回るまでに要した時間は、sugi が 162 分、PW が 177 分、3CLP が 243 分、PB が 267 分であった。

次に床表面温度は、全ての試験体が約 30 分で 26℃程度になり安定した。加熱停止後、sugi は 40 分、PW は 60 分経過した頃から、3CLP よりも温度の低下が進み、6℃を下回るまでに PW は 3CLP と 1.7℃(加熱停止から 147 分後)、sugi は 3CLP と 2.6℃(加熱停止から 120 分後)の最大温度差を生じた。一方 PB は、加熱停止直後から 3CLP よりも温度低下が緩やかで、加熱停止から 36 分後には 3CLP と 1.0℃の最大温度差を生じた。しかしその後温度差は徐々に縮まり、約 150 分後には 3CLP とほぼ同じ温度となった。各試験体における、加熱停止から 6℃を下回るまでに要した時間は、sugi が 219 分、PW が 264 分、3CLP が 369 分、PB が 378 分となり、「断熱材無し」に比べ 2 倍前後伸びた。

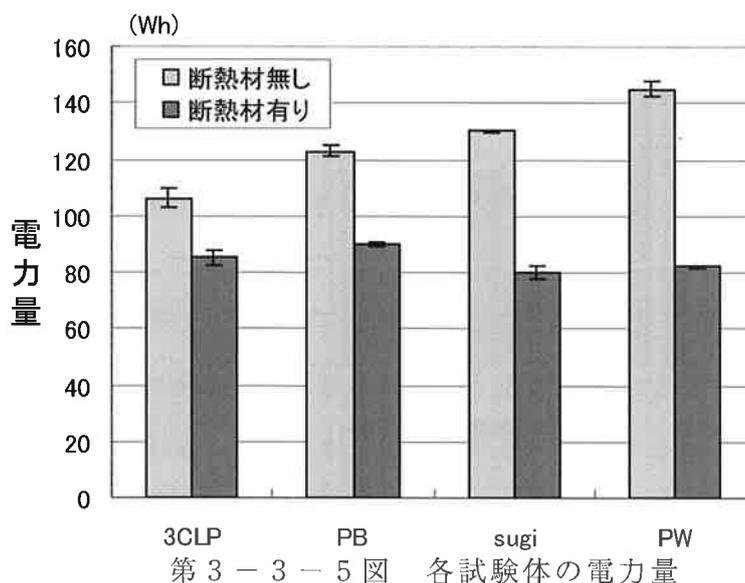
下地材裏の温度は、下地材裏面が断熱材によって外気と遮断されるために、「断熱材無し」の場合に比べて下地材への蓄熱が進んだ。まず PW と sugi の温度が速やかに上昇し、sugi が 30 分で約 45℃、PW が 33 分で約 47℃となり安定した。一方 PB は、100 分で約 41℃となり安定した。3CLP は加熱開始後の昇温が最も緩やかで、180 分で約 35℃となり、その後もわずかではあるが温度の上昇が続いた。加熱停止後は PW と sugi の温度が速やかに低下し、sugi が加熱停止から 255 分、PW が 306 分で 6℃を下回った。一方 PB と 3CLP は、加熱停止後 15 分程度は加熱中に近い温度を維持したが、その後 PB の温度低下が進み、90 分経過以降ほぼ同じ温度低下を示し、PB が 429 分、3CLP が 447 分で 6℃を下回った。PB の熱容量が 3CLP に近く、熱伝導率が 3CLP よりも高いことで下地材への蓄熱が進み、加熱停止後の床表面の温度維持に有利に作用した事が推察される。



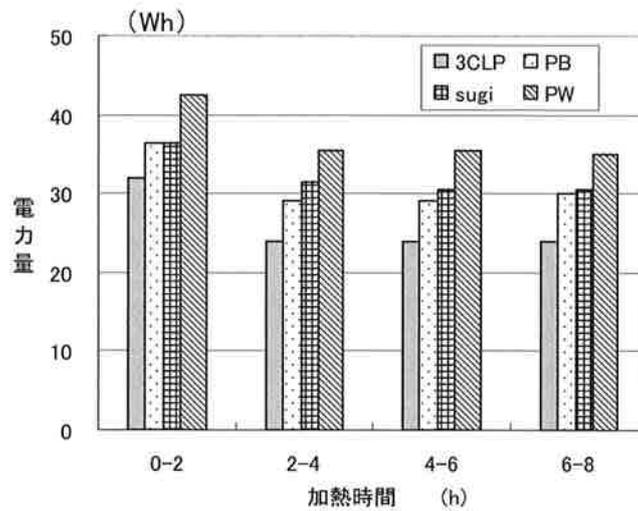
第3-3-4図 各下地材における箱中央・床表面・下地材裏面の温度変化（断熱材有り）

### 3. 3. 2. 3 電力量

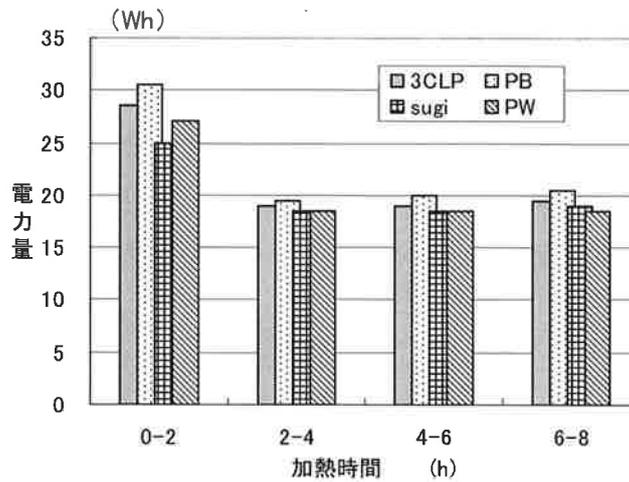
各試験体の電力量を、断熱材の有無別に第 3-3-5 図に示す。「断熱材無し」における 8 時間の総電力量は、3CLP が 106Wh、PB が 123Wh、sugi が 130Wh、PW が 145Wh で、熱貫流率の高い下地材ほど電力量は多かった。そして、最も電力量の少なかった 3CLP は最も電力量の多かった PW に比べ 36Wh (最大値の 27%) 少ない電力量で済んだ。一方「断熱材有り」の場合、3CLP が 85Wh、PB が 90Wh、sugi が 80Wh、PW が 82Wh となった。PW や sugi など熱容量の小さい下地材の方が、熱容量の大きい 3CLP や PB より電力量が若干少ない傾向ではあるものの、最も多かった PB と最も少なかった sugi との差は 10Wh (最大値の 8.9%) で、「断熱材無し」の場合に比べ大幅に縮まった。



そこで、電力消費の傾向を細かく調べるため、加熱開始から 2 時間ごとの電力量の推移を調べた (第 3-3-6 図、第 3-3-7 図)。まず「断熱材無し」の場合、各試験体は加熱初期の 0-2 時間帯で電力量が最も多く、それ以降の時間帯では 0-2 時間帯よりも少なく安定して推移した。また各時間帯とも、電力量はおおむね 3CLP、PB、sugi、PW の順に少なかった。このことから、加熱初期に下地材そのものを加温するのに多くの電力を消費したこと、そして、下地材裏面の露出により熱貫流率の高い下地材ほど温度維持のために電力を多く消費したことが推察された。



第3-3-6図 加熱開始から2時間毎の電力量 (断熱材無し)



第3-3-7図 加熱開始から2時間毎の電力量 (断熱材有り)

次に「断熱材有り」の場合、各試験体の電力量は、「断熱材無し」の場合と同じく、0-2 時間帯で最も多く、それ以降の時間帯では 0-2 時間帯よりも少なく安定して推移した。一方、各時間帯における試験体間の電力量の差は、0-2 時間帯では大きかったが、それ以降の時間帯では小さくなった。加熱初期は「断熱材無し」の時と同様、下地材そのものの加温のために熱容量の大きな 3CLP や PB が電力を多く消費したが、断熱材の敷設により、温度の維持に多くの電力を必要としなかったものと推察された。3CLP は PW や sugi に比べ、熱容量の大きい分だけ加熱初期にやや多くの電力を消費するものの、その差は断熱材の影響で極めて小さくなることがわかった。

### 3. 3. 3 スギ3層クロスパネルの住宅用下地材としての保温性評価

本試験で得られた温度変化と電力量の結果をもとに、3CLP の住宅用下地材としての保温性について評価し、その利用方法について考察した。

まず「断熱材無し」の場合、3CLP は今回の試験に供した下地材のなかで保温性が最も良好で、電力量は最も少なかった。実際の建築において断熱材を使用しない箇所というのは限られているが、例えば戸建住宅の2階床あるいは集合住宅の床の下地材に3CLPを使用すれば、エアコンやファンヒーターなど床暖房以外の空調設備を用いた場合でも、他の下地材より保温性能の向上及び省エネルギー効果が得られることが期待される。

次に「断熱材有り」の場合、3CLP は既存の床暖房用下地の施工方法として一般的なPWに比べ、箱中央や床表面の温度特性に関して同等以上の性能を有していた。加熱停止後の室内や床表面の温度低下を少しでも和らげたい場合、例えば高齢者の居室などは、3CLPの使用が効果的と思われる。また電力量は、加熱初期にやや多く消費したものの、総電力量の差は極めて小さかった。一方、3CLPとPBを比較すると、加熱停止後の床表面温度においてPBの方が有利であったが、加熱停止後の箱中央の温度および電力量に関しては、3CLPはPBと同等以上の性能を有していた。ある程度の保温性能を確保しつつエネルギーコストを抑えたい場合、3CLPはPBの代替として有望であろう。なおsugiは、「断熱材有り」の試験体の中で電力量が最も少なかった。これはsugiの熱容量（質量）が、他の下地材に比べ小さかったためと推察される。エネルギーコストを極力少なくしたい、という場合に、この厚さのスギ板は効果的な下地材になり得ると考えられる。今回試験に用いたsugiは3CLPを構成する幅はぎひき板であることから、3CLPの活用と合わせ、スギの薄板の活用方法の一つとして注目したい。

### 3. 4 要約

本研究では、スギ3層クロスパネル(3CLP)の住宅用下地材としての温熱特性を把握することを目的として、床暖房システムを想定した小試験体によるモデル試験を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

(1) 加熱停止後の保温性について、下地材裏面に断熱材を敷設しない場合、3CLPは今回試験した全ての下地材の中で最も優れた保温性能を有していた。また、下地材裏面に断熱材を敷設した場合、3CLPは合板(PW)やスギ板(sugi)に比べ箱中央および床表面温度ともに同等以上の性能を有していた。

(2) 3CLPの電力量は、断熱材を敷設しない場合、今回試験に供した下地材の中で最も少なく、省エネルギー効果が認められた。また、断熱材を敷設すると、下地材間の電力量の差は極めて小さくなり、PWとほぼ同じ値になった。

(3) 保温性と電力量には、各下地材の熱容量および熱貫流率の特性が反映されていた。

## 第4章 スギ3層クロスパネルの住宅用床・壁材としての反り特性

### 4.1 背景と目的

第2章および第3章で、スギ3層クロスパネルの材質や強度、温熱特性について、その特徴を明らかにしてきたが、スギ3層クロスパネルを住宅の壁や床などとして使用しようとする場合、解決すべき課題の一つとして温度や湿度の変化に伴う「反り」の発生が挙げられる。一般住宅では、室内と床下とで、温湿度に大きな違いがあることが知られている<sup>34)</sup>。床材は両面が接する温湿度に差が生じると、吸・放湿によって反りが発生しやすい。反りは凹凸や段差などを生じさせ、住む人にとって不快感を与えるため、その発生を抑制する必要がある。吉田は木質複合パネルの反りに関する解析を行い、狂いの発生には含水率の影響が大きく、何らかの手段を講じて水分をコントロールすることが必要であると指摘している<sup>35)</sup>。スギ3層クロスパネルは、ひき板の繊維方向を互いに直交させていること、厚さが36mmと比較的厚いため、反りの発生をある程度抑制することが期待されるが、温湿度によるスギ3層クロスパネルの反りに関する研究は極めて少ない<sup>10) 20)</sup>。反りに関するデータを蓄積し、製品の管理や施工方法に反映させていくことが、今後のより良い製品づくり、不具合のない快適な住空間の創出につながるものと考えられる。

そこで本章では、市販されている36mm厚さのスギ3層クロスパネルについて、両面の温湿度の違いが反りに与える影響を明らかにすることを目的として、2室型環境試験機を用いた実大パネルの反り矢高試験を行い、その特性について他材料との比較も交えて検討した。

### 4.2 材料及び方法

#### 4.2.1 供試材料

試験に供したスギ3層クロスパネル(以下、3CLP)は、幅910×長さ1,820×厚さ36(mm)の表面を主として辺材板、中芯と裏面を心材板により構成された片面化粧の市販製品を用いた。試験体となる3CLPは、工場です約10日おきに1回10枚ずつ、計100枚抽出してそれらの密度を調べ、平均的(0.42g/cm<sup>3</sup>)なパネルのうち2枚を抜き取り試験体とした。

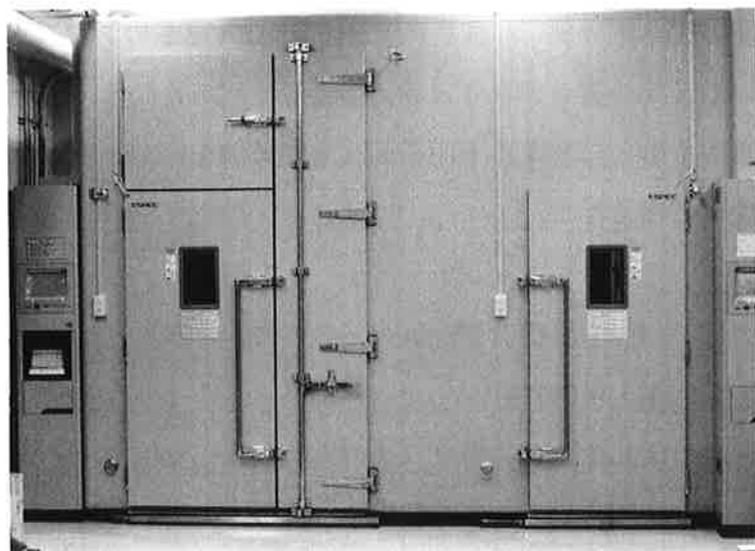
平行パネル（以下、PP）、フローリング(以下、FL)および 27mm クロスパネル（以下、CLP27）は、3CLP との比較対照用として用いた。PP は、幅はぎひき板の繊維方向の違いが反りに与える影響を比較するために用い、3 枚の幅はぎひき板の繊維方向が互いに平行になるように積層接着して作製した。PP の寸法および密度は 3CLP とほぼ同じになるように調製した。FL は、一般的に施工されている床材との比較を行うためのもので、建材店で販売されているカラーフローリング、寸法：幅 303×長さ 1,818×厚さ 15mm、基材：JAS2 類合板、表面：天然木ナラ単板、UV 塗装処理）を、床下地材に見立てた針葉樹構造用合板（種別：JAS 構造用 2 級、寸法：幅 303×長さ 1,820×厚さ 12mm、樹種：ロシアカラマツ）の全面に、木質フローリング用ウレタン系接着剤とスクリューネイルを使って強固に貼り付けた。PP と FL はそれぞれ 2 枚作製し、試験体とした。

CLP27 は、3CLP の軽量化を目的に、幅はぎひき板の厚さを 1 枚あたり 9mm とした、総厚 27mm の 3 層クロスパネルである。パネルの厚さが薄くなることによる反りへの影響を調べるために用いた。幅、長さ、積層構成などについては 3CLP と同じである。

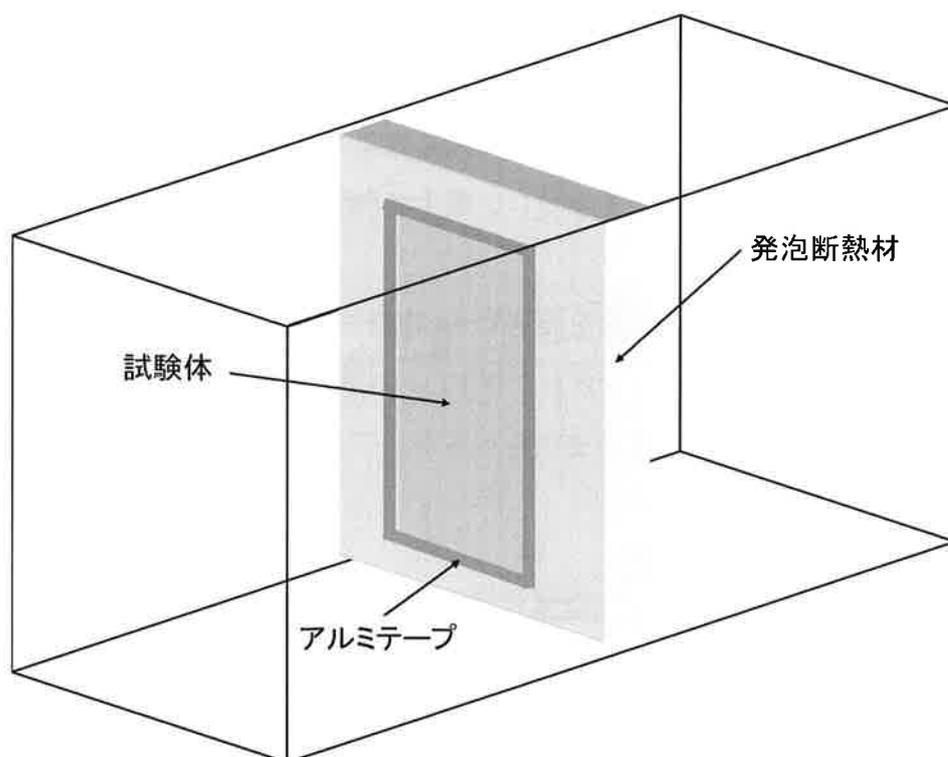
#### 4. 2. 2 試験方法

##### 4. 2. 2. 1 試験機と試験体の設置

試験には、2 室型環境試験機（エスベック株式会社製ビルトインチャンバー 第 4-2-1 図）を用いた。試験体を 2 室の間に立てて設置し、その周りを発泡性断熱材とアルミテープで、2 室間の空気の移動が無いようにし、しかも反りを妨げないようにした（第 4-2-2 図）。



第 4 - 2 - 1 図 2 室型環境試験機



第 4 - 2 - 2 図 2 室型環境試験機への試験体の設置方法

#### 4. 2. 2. 2 温湿度設定と試験機の運転

試験体は、2 室の温度 20℃、相対湿度 65%RH (平衡含水率 12%)の雰囲気 を 80 時間以上維持することにより試験前の養生を行った。本研究において目標とした平衡含水率、温湿度条件は (第 4-2-1 表) の A~F のように決定した。まず、温度は全ての条件において 28℃と 23℃に固定して試験した。28℃にした理由は、夏季の室内空調の経済温度が 28℃とされていること、岩前の報告<sup>3,4)</sup>で、夏季における住宅の室内と床下の温度差は 5℃前後であったことなどを参考に設定した。そして、両室の相対湿度を変化させることで、平衡含水率を調整した。裏面側は全て、養生時の平衡含水率よりも高くなるように設定した。表面側について、条件 A~D および F は、室内で

第 4 - 2 - 1 表 2 室の温湿度条件

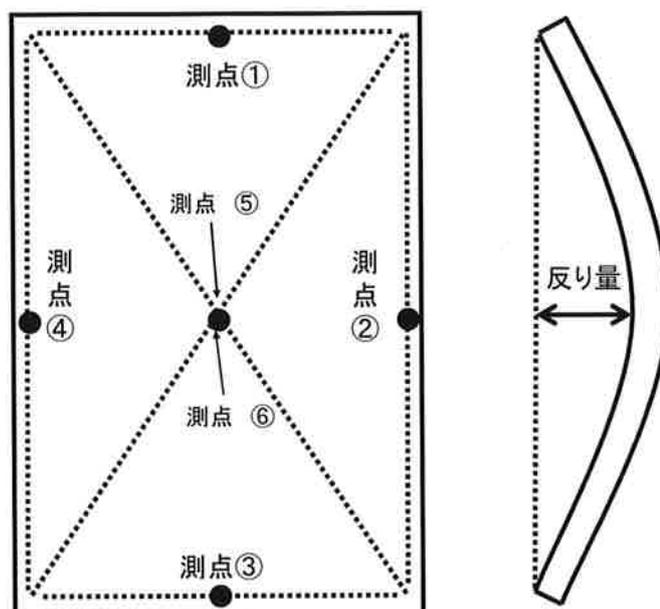
条件	表面側			裏面側			平衡含水率の差
	温度 ℃	相対湿度 %RH	平衡含水率 %	温度 ℃	相対湿度 %RH	平衡含水率 %	
A	28	60	10.5	23	95	24.0	13.5
B	28	60	10.5	23	90	20.5	10.0
C	28	60	10.5	23	86	18.5	8.0
D	28	60	10.5	23	76	14.5	4.0
E	28	72	13.0	23	91	21.0	8.0
F	28	51	9.0	23	83	17.0	8.0

の空調設備の運転、あるいは工場や建築現場で製品を養生している時などの湿度低下を想定し、養生時の平衡含水率よりも低くなる条件で設定した。一方条件 E は、解体前住宅の部材の含水率調査の結果<sup>36)</sup>を参考に、養生時の平衡含水率よりも高くなる条件で設定した。

養生終了後、試験機は、各温湿度条件を設定し 72 時間の連続運転を行った。3CLP については第 4-2-1 表の全条件を、PP および FL、CLP27 については条件 A のみを試験した。また各試験の前には前述の養生を行った。

#### 4. 2. 2. 3 反り量の測定方法

反り矢高の測定方法は、水糸を試験体の幅方向、長さ方向、対角線方向にたるみが無いように張り（第 4-2-3 図）、0、4、8、24、32、48、56、72 時間経過毎に水糸の中央部における矢高を 0.5mm 単位の JIS1 級鋼尺で実測した。各方向について 2 枚の測定結果を平均して、幅、長さ、対角線の反り量とした。



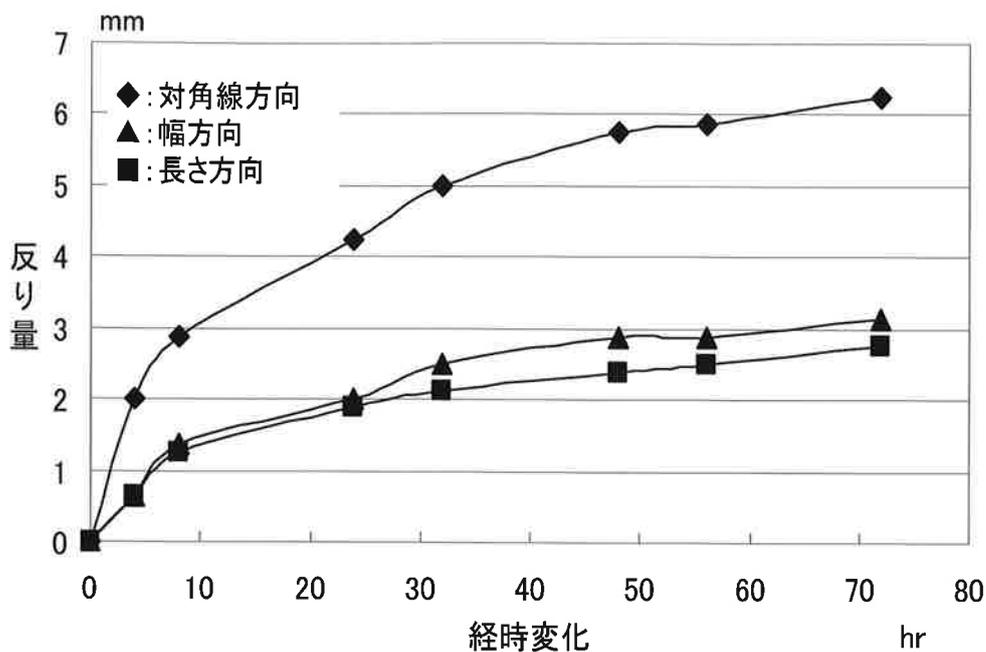
第 4-2-3 図 試験体の反り量の測定方法

注) 点線は水糸を、●は測点（各水糸の中央部）を示す

### 4. 3 結果及び考察

#### 4. 3. 1 スギ 3 層クロスパネルの反りの特徴

条件 A を例に、3CLP における反り量の経時変化について第 4-3-1 図に示す。反り量は、幅方向、長さ方向、対角線方向ともに試験開始後 8 時間までは急激に増加し、その後は緩やかな増加を示した。72 時間経過時点での反り量は対角線方向で 6.3mm、幅方向で 3.1mm、長さ方向で 2.8mm であった。これらの値は 8 時間経過時点の反り

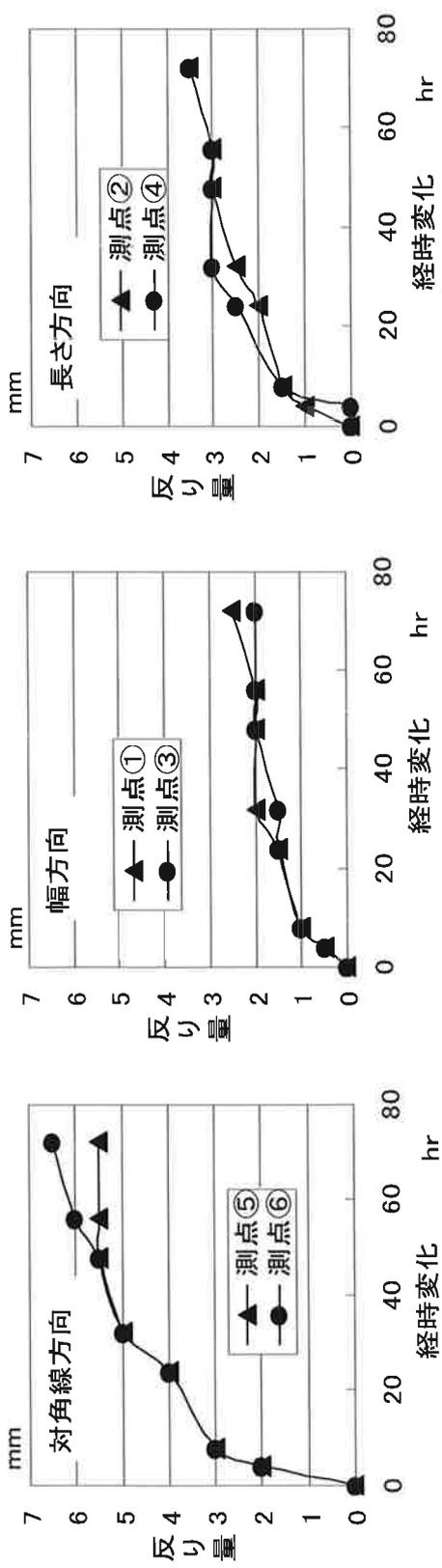


注) 表面28°C,60%RH(平衡含水率10.5%) 裏面23°C,95%RH(平衡含水率24.0%)

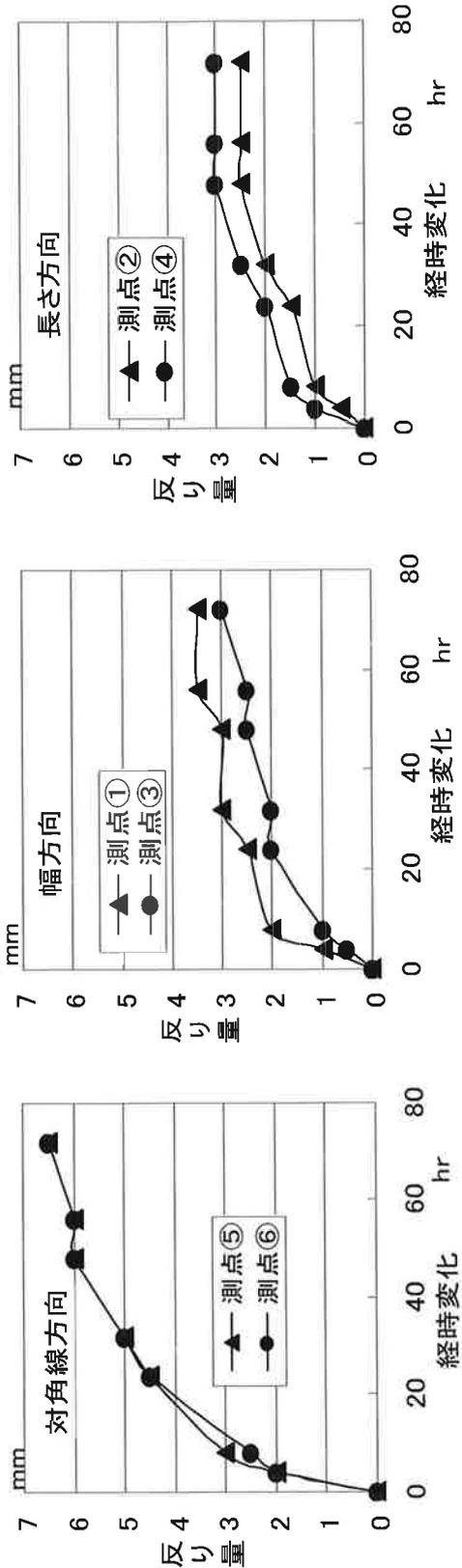
第4-3-1図 3CLPの反り量の経時変化

量のおおむね2倍であった。1日の間の温湿度変動で、木材が湿度変化の影響を受けるのは木材表面から2~3mm程度の深さまでであるが、長い周期の変動になるに従ってその影響は内部にまで及ぶようになる<sup>37)</sup>。このことから反り量は、72時間以降も徐々に増加していくものと考えられる。

次に条件Aにおける各3CLP試験体の測定方向毎の反り量の経時変化を第4-3-2図に示す。各方向における2測点の反り量の差は多くても1mm程度で、局部的に大きな反りが発生するという事はなかった。池田ら<sup>10)</sup>は、3CLP両面の湿度差を付けた場合、各方向における変形のバランスが良好であったと報告している。また、比較のために別途用意した針葉樹合板(種別:JAS構造用2級、寸法:幅910×長さ1,820×厚さ12mm、樹種:ロシアカラマツ)2枚を用いて同様の温湿度条件で試験したところ、対角線方向で不均一に大きな反りが生じ、3CLPとは明らかに異なる挙動を示した(第4-3-3図)。厚みや材質が違うので単純な比較はできないが、36mm厚さの3CLPは、反りは発生するものの、局部的に大きな(不均一な)反りの少ない面材と言える。また試験後、木部の割れ、接着層のはく離などは認められなかった。

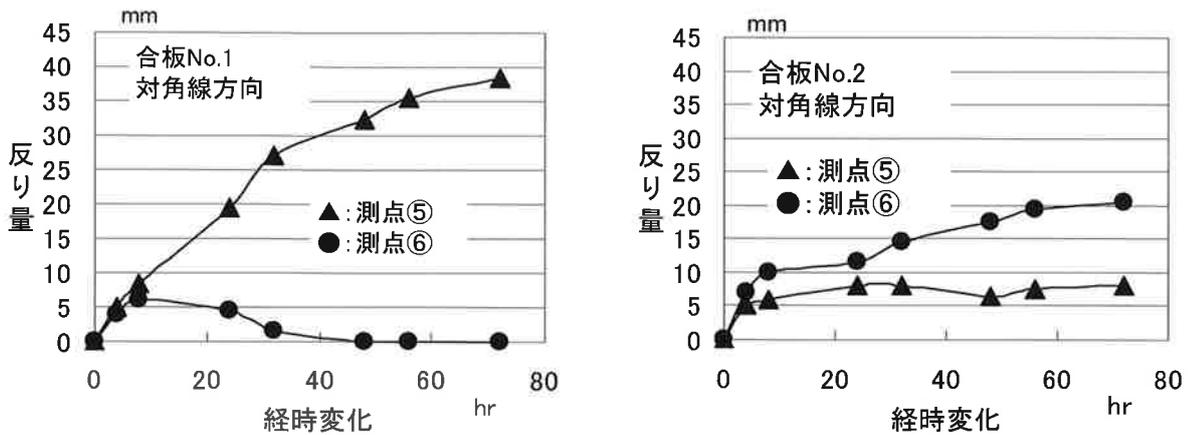


3CLP No.1



3CLP No.2

第 4 - 3 - 2 図 各試験体の測定方向毎の反り量の経時変化  
 注) 表面 28℃, 60%RH(平衡含水率 10.5%) 裏面 23℃, 95%RH(平衡含水率 24.0%)

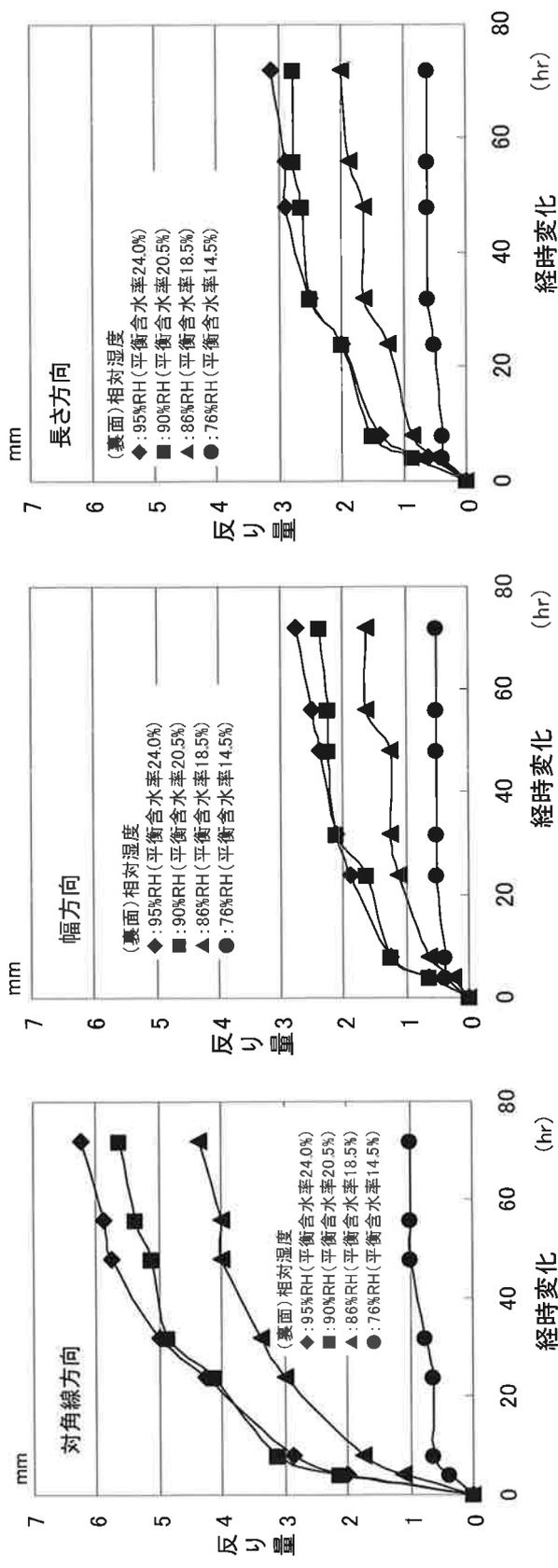


第 4 - 3 - 3 図 合板の反り量の経時変化

注) 表面 28℃,60%RH(平衡含水率 10.5%) 裏面 23℃,95%RH(平衡含水率 24.0%)

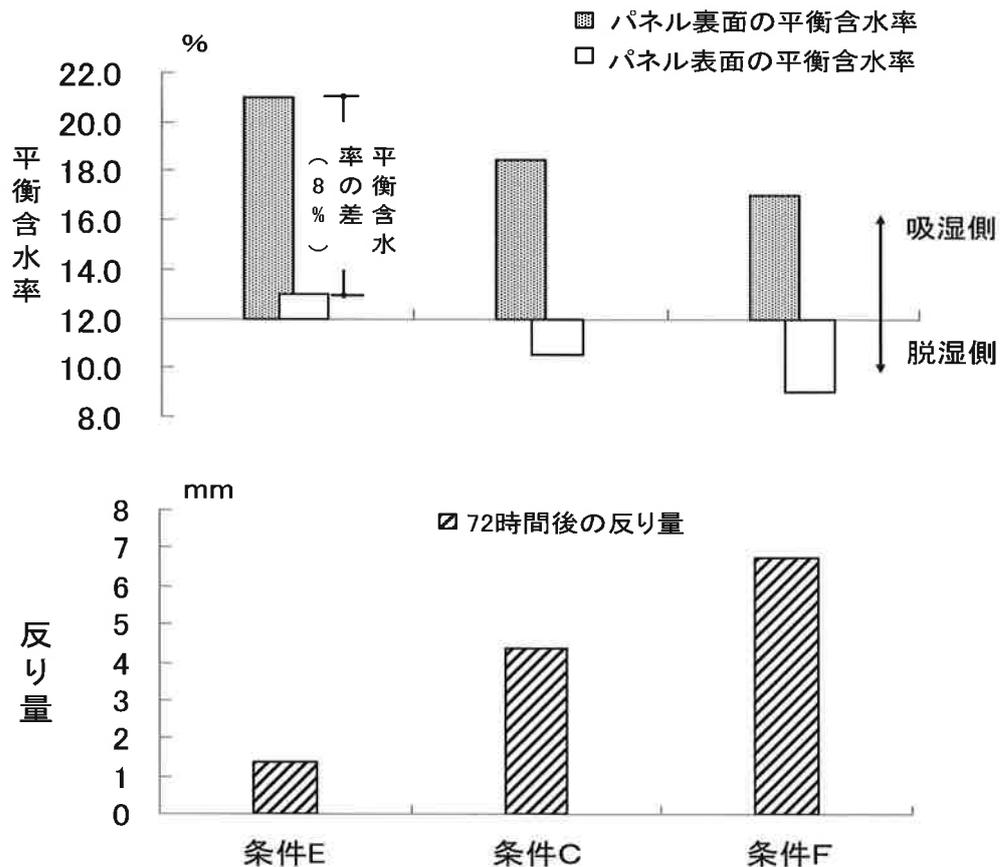
#### 4. 3. 2 湿度変化がスギ 3 層クロスパネルの反りに及ぼす影響

3CLP の条件 A~D における反りの経時変化を第 4-3-4 図に示す。反り量は裏面の湿度が高くなるほど大きな値を示した。対角線方向における 72 時間経過時点の反り量は、条件 D(裏面 76%RH 平衡含水率 14.5%)で 1.0mm であったが、湿度を 10% RH 上げた条件 C(裏面 86%RH 平衡含水率 18.5%)では約 4.4mm と急激に増加し、条件 B(裏面 90%RH 平衡含水率 20.5%)と条件 A(裏面 95%RH 平衡含水率 24.0%)ではさらに大きな値を示した。条件 A および B は、32 時間経過までほぼ同じ挙動を示したが、その後徐々に差が大きくなった。また幅方向および長さ方向の反りの挙動も対角線方向と同様の傾向を示した。AQ 基準では 3CLP の加工精度について、幅方向および長さ方向の反りの最大矢高を 3mm 以下と定めている<sup>38)</sup>。本試験における条件 A の長さ方向の反り量は、72 時間経過時点で 3.1mm であった。このことは、温湿度条件によっては AQ 基準値を上回る反りが発生する可能性があることを示しており、例えば 3CLP 製造後の養生あるいは建築現場での製品管理に配慮が必要であることを示唆している。



第4-3-4図 3CLP裏面の相対湿度を変化させたときの反り量の経時変化  
 注) (表面) 28°C, 60%RH (平衡含水率10.5%) (裏面) 23°C

次に各室の湿度を、パネル表裏面の平衡含水率の差が同じになるように変化（平衡含水率の差 8.0% 第 4-2-1 表の条件 C、E、F）させたときの、対角線方向における 72 時間経過時点の反り量を第 4-3-5 図に示す。条件 E のようにパネルの両面が吸湿によって平衡に向かう条件下では、72 時間経過後の反り量は 1.4mm と少なかった。一方、裏面側が吸湿、表面側が脱湿する条件（条件 C、F）では反り量が条件 E に比べ大きな値を示し、3CLP の反りは脱湿による影響を大きく受けることがわかった。実際の住宅では、例えば床暖房のような暖房器具を使用することで、比較的厚い板でも短時間に含水率が 5% 以下に下がることがある<sup>37)</sup> ため、パネルに大きな反りが発生しやすくなる。



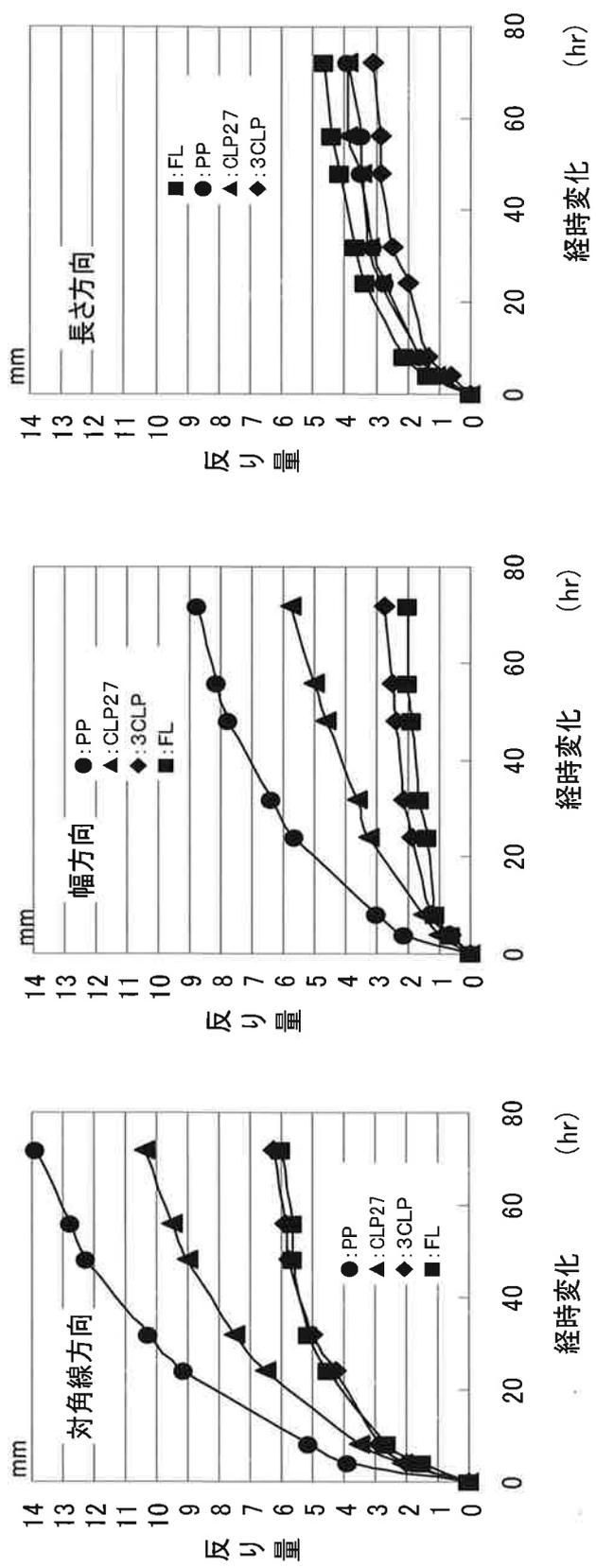
第 4-3-5 図 3CLP 表裏面の平衡含水率と反り量の関係  
(パネル表裏面の平衡含水率の差は全て 8%)

#### 4. 3. 3 スギ3層クロスパネルと他のパネルの比較

3CLP と PP、CLP27 および FL の条件 A における反り量の経時変化を第 4-3-6 図に示す。まず PP は、初期段階から急激に反りが生じ、72 時間経過時点での反り量は、対角線方向で 13.9mm、幅方向で 8.8mm、長さ方向で 3.9mm となった。このことから、ひき板の繊維方向を直交させる事で、36mm 厚さの 3CLP の反り量を幅方向で 1/3 以下、対角線方向で 1/2 以下に抑制していることがわかった。

次に CLP27 は、8 時間経過までは 3CLP と大きな差は認められなかったが、その後反りは大きくなり、72 時間経過時点の反り量は、対角線方向で 10.4mm、幅方向で 5.8mm、長さ方向で 3.9mm となった。3CLP の反り量と比較すると、対角線方向で約 1.7 倍の反り量となった。ところで、本試験では 72 時間経過時点におけるパネルの反り量を比較している。もし、これよりもさらに長期にわたる試験を行った場合、3CLP と CLP27 の反り量が本試験と同じ結果になるかどうかは明らかでない。両パネルは厚さが違うだけで材質や積層方法などは同じである。CLP27 の方が薄い分だけ、3CLP よりも早く水分傾斜が進み、反り量がこの温湿度条件の最大に近づくであろうが、3CLP も徐々に反り量が増加し、長期的には CLP27 の反り量と同じ値になることも考えられる。今後は長期の使用を想定したダブルチャンバー試験、実際に施工された物件の経年変化の把握なども必要であろう。

一方、FL の反りは 3CLP と同じ挙動を示し、72 時間経過時点の反り量もほぼ同じ値を示した。また、厚さが同じ CLP27 の反り量と比較すると、FL の方が反り量は少なかった。FL は、表面のカラーフローアーに塗装処理が施されており、片面の脱湿が制限される。そのことが FL の反りを抑制している原因の一つであると考えられた。



第 4 - 3 - 6 図 3CLP と PP、CLP27、FL の反り量の経時変化  
 注) 表 28℃, 60%RH(平衡含水率 10.5%) 裏面 23℃, 95%RH(平衡含水率 24.0%)

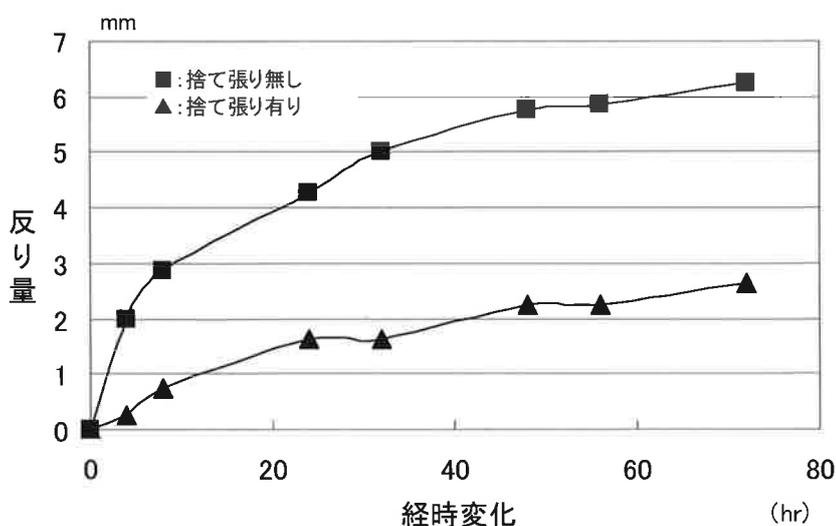
#### 4. 3. 4 スギ3層クロスパネルの反り抑制手法の検討

3CLP は、幅はぎ板の繊維方向を互いに直交することで反りの発生を抑制する効果があることが前述の実験で明らかとなった。しかし、反りが全く発生しないというわけではない。ここでは、反りの発生をさらに抑制できる方法について、いくつかの手法を試みた。

##### 4. 3. 4. 1 捨て張り

3CLP の反りを軽減する方法として、まず、「捨て張り」を試みた。本実験で用いた捨て張り用材は 12mm 厚さのスギ幅はぎ板とし、これを 3CLP の片面に釘打ちした。試験条件は、第 4-2-1 表の条件 A とし、捨て張りをおこなった面は床下を想定した吸湿側とした。

試験の結果を第 4-3-7 図に示す。捨て張りをを行うことで実験初期から反りの低減効果が認められ、72 時間経過時点で捨て張りの無い場合に比べて半分以下の反り量に抑えることができた。捨て張りによって 3CLP の片面が床下の温湿度の影響を直接受けることを防ぎ、反りを大幅に軽減させることができるものと考えられる。捨て張りは住宅の床の施工で一般的に用いられる手法であり、簡便な反り軽減方法として期待できる。



第 4-3-7 図 捨て張りの有無と 3CLP の反り量の経時変化 (対角線方向)

注) 表面 28℃60%RH(平衡含水率 10.5%) 裏面 23℃95%RH(平衡含水率 24.0%)

#### 4. 3. 4. 2 パネル各層の厚さ比率

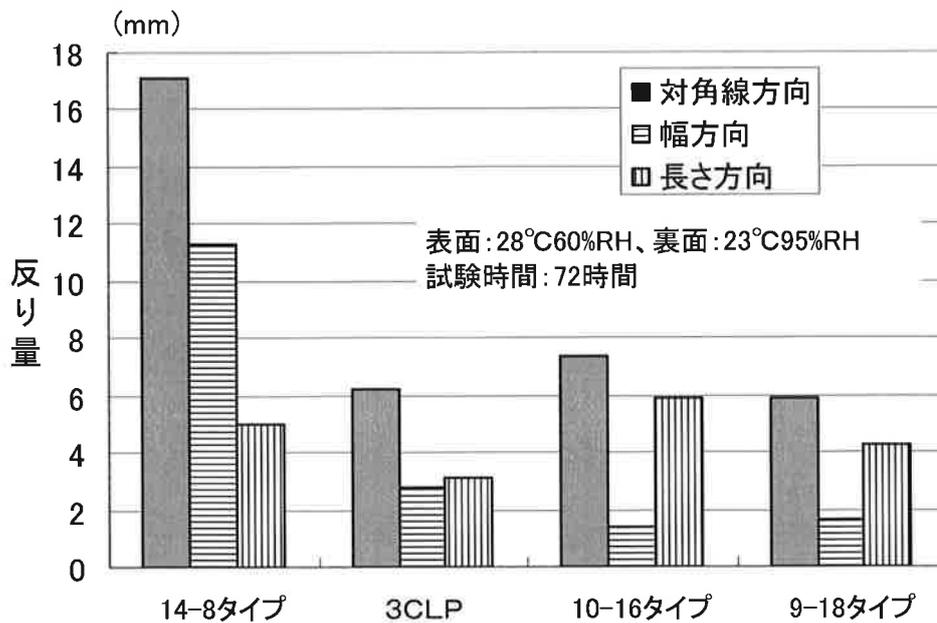
現在市販されている 3CLP は、12mm 厚さの幅はぎ板を 3 枚積層接着したもので、表板、中芯板、裏板の厚さ比率は 1 : 1 : 1 である。この厚さ比率を変えることによる 3CLP の反りへの影響、反りの低減効果について検討した。各層の厚さの組み合わせを第 4-3-1 表に示す。総厚さは既存製品と同じ 36mm とし、厚さ組み合わせは第 4-3-1 表に示す通り、14mm-中芯 8mm-裏 14mm (以下、14-8 タイプ)、表 10mm-中芯 16mm-裏 10mm (以下、10-16 タイプ)、表 9mm-中芯 18mm-裏 9mm (以下、9-18 タイプ) の 3 通りとし、既存の 3CLP (表 12mm-中芯 12mm-裏 12mm) との比較を行った。温湿度条件は第 4-2-1 表の条件 A とし、72 時間の連続運転を行った。繰り返し回数は 2 回とし、平均値を各試験体の反り量とした。

第 4-3-1 表 各層の厚さを変えた 3CLP の概要

名称	総厚(mm)	厚さ (mm)		
		表板	中芯	裏板
14-8タイプ	36	14	8	14
3CLP		12	12	12
10-16タイプ		10	16	10
9-18タイプ		9	18	9

72 時間後の各試験体の反り量について第 4-3-8 図に示す。14-8 タイプの反り量は、対角線方向で 17.1mm、幅方向で 11.3mm、長さ方向で 5.0mm となり、3CLP よりも反り量が大きくなった。中芯板よりも表・裏板の方が厚いために幅方向の反りが極めて大きくなってしまった。一方、10-16 タイプの反り量は対角線方向で 7.4mm、幅方向で 1.4mm、長さ方向で 5.9mm、9-18 タイプの反り量は対角線方向で 5.9mm、幅方向で 1.6mm、長さ方向で 4.3mm であった。9-18 タイプにおいて、3CLP に比べ長さ方向で反り量が 1mm 程度増加したものの、対角線および幅方向で反り量の抑制効果が認められた。9-18 タイプはパネル全体に占める表面化粧用幅はぎ板の割合が 25%で、3CLP の 33%よりも少ない。序論で述べたとおり、スギ中目材を原材料とする製品にとって化粧面用のひき板の確保は大変な作業であることから、9-18 タイプは対角線の反り量を同程度に維持しつつ、化粧面用幅はぎ板の製品における構成割合を少なくできる利点があると考えられる。また、その他の 9-18 タイプの利点とし

て、①ひき板の仕上がり厚さが 9mm と薄くなるため短時間での乾燥が期待できる、②36mm 厚さのパネルを 9mm 厚さの幅はぎ板 4 枚で製造できることから、他の組み合わせに比べひき板の厚さを 1 種類に統一できる、③9mm 厚さの幅はぎひき板であれば 27mm 厚さの 3CLP の製造も可能であることから、1 種類の厚さの幅はぎ板で 36mm と 27mm のパネル製品に対応できる、等が挙げられる。36mm 厚さの場合、3CLP に比べて接着層が 1 層増えることが短所であるが、スギを面材料として利用していく上で今後検討に値するものと考ええる。



第 4-3-8 図 厚さ比率を変えた 3CLP の反り量

#### 4. 4 要約

市販されている 36mm 厚さのスギ 3 層クロスパネル(3CLP)について、両面の温湿度環境の違いがパネルの変形に与える影響を調べるために、2 室型環境試験機を用いた 72 時間連続運転による反り矢高試験を行った結果、以下のことが明らかになった。

(1) 3CLP の反り量は、試験開始後 8 時間までは急激に増加し、その後は緩やかに上昇した。その際に、局部的に大きな反りは発生しなかった。

(2) 3CLP 表面の平衡含水率の違いによってパネルの反りの挙動は大きく変化した。特に脱湿が 3CLP の反り量に大きな影響を与えた。

(3) 幅はぎ板の繊維方向を直交させる 3CLP は、幅はぎ板を平行に積層接着したパネルに比べ、反り量を対角線方向で半分以下に軽減できた。また市販のカラーフローア(厚さ 15mm)と構造用合板(厚さ 12mm)を組み合わせたフローリングと比べると同程度の反り量を示した。

(4) 捨て張りは 3CLP の反りを簡便に軽減する手法として有効である。

(5) 3CLP 各層の厚さを変えることで、3CLP の反り量は変化した。厚さの組み合わせを表面 9mm、中芯 18mm、裏面 9mm とした場合に、3CLP の対角線と幅方向の反りの抑制効果が認められた。

## 第5章 スギ3層クロスパネルの落とし込み壁体としての構造性能と住宅建築への活用

### 5.1 背景と目的

スギ3層クロスパネルは、曲げ、温熱、反りに関する様々な特徴を有していることが、これまでの研究により明らかとなった。これらの特性の一部は、製造方法を改良することによってさらに向上できる項目もあり、今後の取り組みが望まれる。ただし、スギ3層クロスパネルを住宅用部材として使用する場合、他の材料と組み合わせて使用することを想定すると、単体での改善を考えるよりも構造体の一つとしてパネルをとらえ、改善点を補うことの出来る工法を提案することも有効な方法の一つであると考ええる。

その一つとして「落とし込み工法」に注目した。この工法は、溝加工を施した柱と柱の間に板材を落とし込んで壁とする工法で従来から用いられている技法である。この工法にスギ3層クロスパネルを用いることにより、耐力壁としての役割が期待できるほか、パネルを溝にはめ込むことで反りの抑制も期待できる。また、スギ3層クロスパネルの表面から釘を打たないので化粧面としての利用にも優れている。以上のことからスギ3層クロスパネルの落とし込み工法による住宅用壁材としての利用は、スギの質感を全面に出した、地域材を使った特色ある住宅造りが期待できるが、これらに関する知見はほとんど無いのが実情である。この工法を普及していくためには、まずこの壁体の耐力壁としての構造性能を明らかにし、得られたデータについて地域の素材を活かした安全・安心の住まい造りの要望に役立たせていくことが有効であると考えた。

本章では、スギ3層クロスパネルの特徴を活かした建築手法として期待される「落とし込み工法」について、壁体の耐力壁としての性能を明らかにすることを目的として、実際の建築設計とほぼ同じ条件で作製した実大試験体による面内せん断試験を行い、壁倍率の算出等からその性能を検証した。

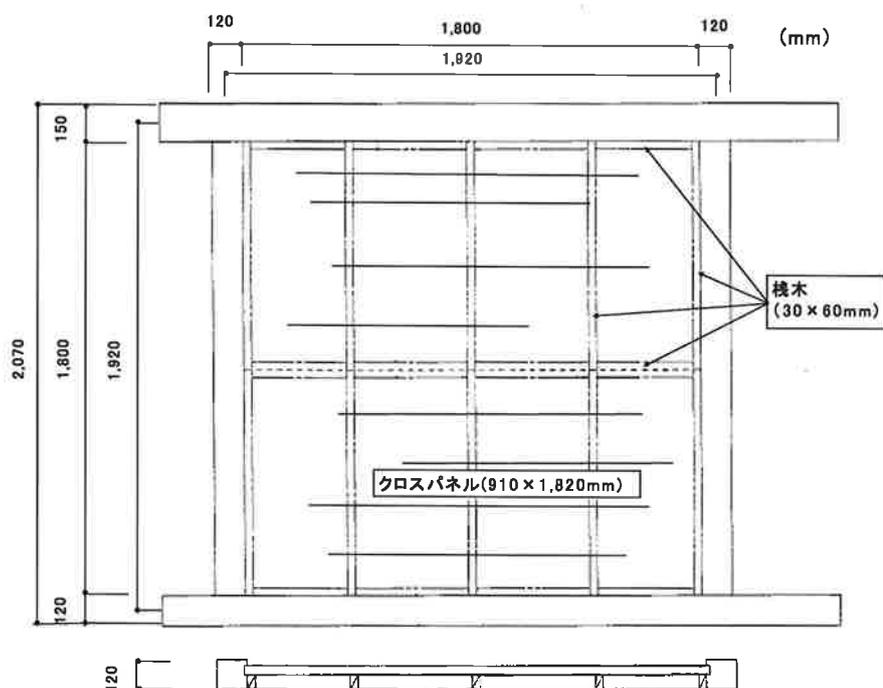
## 5. 2 材料及び方法

### 5. 2. 1 供試材料

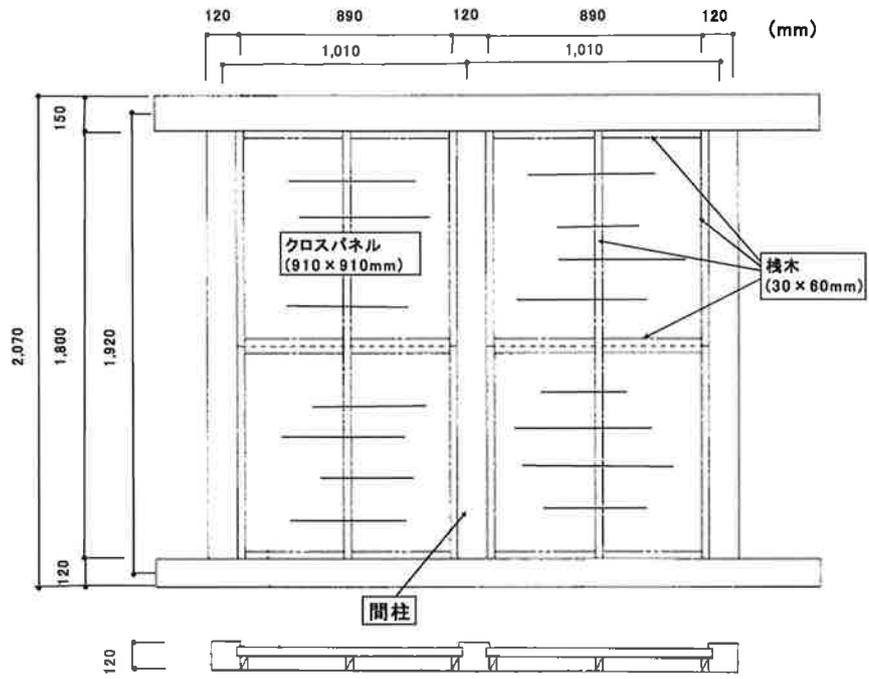
スギ3層クロスパネル（以下、3CLP）は、協同組合レングス（鳥取県西伯郡南部町）で生産された、幅 910mm×長さ 1,820mm×厚さ 36mm の市販製品（片面化粧）を用いた。また軸材料は、土台(断面寸法 120×120mm)、柱(断面寸法 120×120mm)、桁（断面寸法 120×150mm）を全てスギとした。側面には 3CLP を落とし込みのための溝加工を、幅について柱の真中から約 36mm、深さ 15mm で施した。

### 5. 2. 2 落とし込み壁の概要

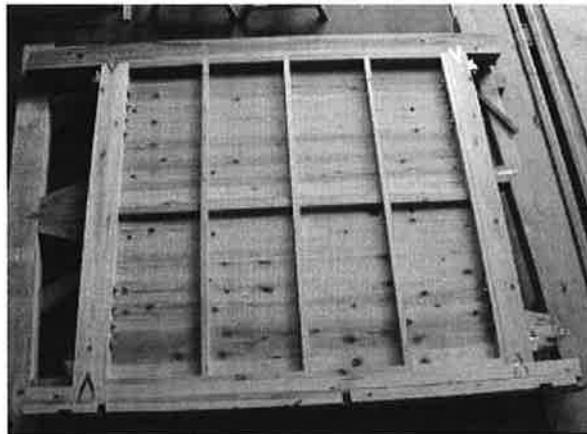
試験体は 3CLP をそのままの形状で横向きに 2 枚落とし込む「一間タイプ」（第 5-2-1 図）と、長さ方向を半分に切断して 910mm 角の正方形にし、柱と間柱(幅 120×厚 120) の間に落とし込む「半間タイプ」（第 5-2-2 図）の 2 条件とした。試験体の高さは 2,070mm とした。土台と柱、柱と桁はホールダウン金物、羽子板ボルト、山形プレート（全て Z 金物）で緊結し、裏面には棧木（断面 30×60mm）を配置して 50mm 長さの内装用ビスを 200mm ピッチで斜め打ちして固定した（第 5-2-3 図、第 5-2-4 図）。試験体数は 1 条件当たり 3 体とした。



第 5-2-1 図 落とし込み壁（一間タイプ）の概要



第5-2-2図 落とし込み壁（半間タイプ）の概要



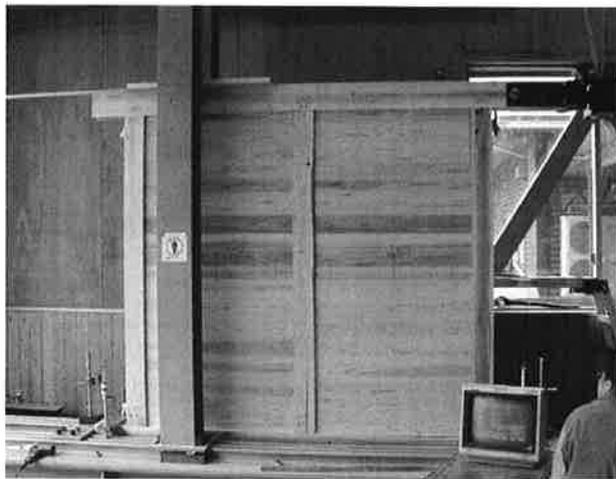
第5-2-3図 落とし込み壁（一間タイプ）横木、金物接合の様子



第5-2-4図 落とし込み壁（半間タイプ）横木、金物接合の様子

### 5. 2. 3 面内せん断試験方法

面内せん断試験は木造軸組工法の許容応力度設計((財)日本住宅・木材技術センター発行)に規定されている木造軸組耐力壁の試験法<sup>3)9)</sup>を参考に、柱脚固定式(無載荷式)で行った(第5-2-5図)。加力は、せん断変形角 $1/450\text{rad}$ 、 $1/300\text{rad}$ 、 $1/200\text{rad}$ 、 $1/150\text{rad}$ 、 $1/100\text{rad}$ 、 $1/75\text{rad}$ 、 $1/50\text{rad}$ において各3回の正負交番負荷を行い、その後 $1/15\text{rad}$ になるまで押し切った(第5-2-6図)。試験結果から包絡線を描いて降伏耐力( $P_y$ )、終局耐力( $P_u$ )、最大耐力 $P_{\text{max}}$ 、 $1/120\text{rad}$ 時の耐力( $P_{120}$ )、構造特性係数( $D_s$ )を決定し、 $P_y$ 、 $P_u \times (0.2/D_s)$ 、 $P_{\text{max}} \times 2/3$ 、 $P_{120}$ のうちで最も小さい値を試験荷重として、(5. 1)により壁倍率を算出した。



第5-2-5図 試験体の試験機への設置状況(半間タイプ)



第5-2-6図 面内せん断試験の様子(半間タイプ)

$$\text{壁倍率} = P_0 \times \alpha \times (1/1.96) \times (1/L) \quad (5.1)$$

ただし、 $P_0$ : 試験荷重 ( $P_y$ 、 $P_u \times (0.2/D_s)$ 、 $P_{\max} \times 2/3$ 、 $P_{120}$ のうちの最小値)

1.96: 壁倍率=1を算定する数値(kN/m)

L: 試験体の壁の長さ(m)

$\alpha$ : 材料特性, 繰返しによる耐力低下や脚柱の仕様により実際の設計で危険とならないよう低減する係数

### 5.3 結果及び考察

#### 5.3.1 荷重-変形角曲線

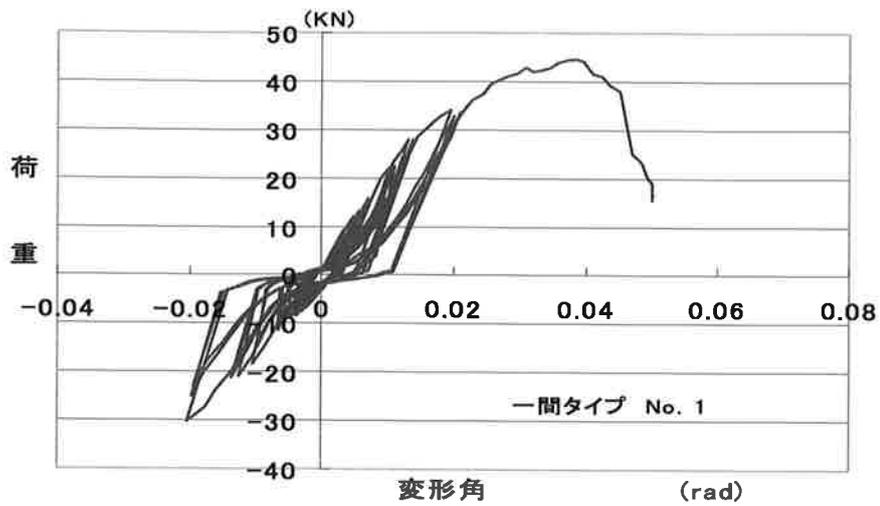
面内せん断試験結果について、荷重-変形角曲線を第5-3-1~5-3-6図に示す。最大耐力は一間タイプで平均 45.8KN (44.3~48.4KN)、半間タイプで平均 32.9KN (30.0~38.1KN) となり、一間タイプの方が 12KN 程度高かった。また、両タイプの最大耐力時の変形角に特徴的な傾向は認められなかった。

#### 5.3.2 壁倍率

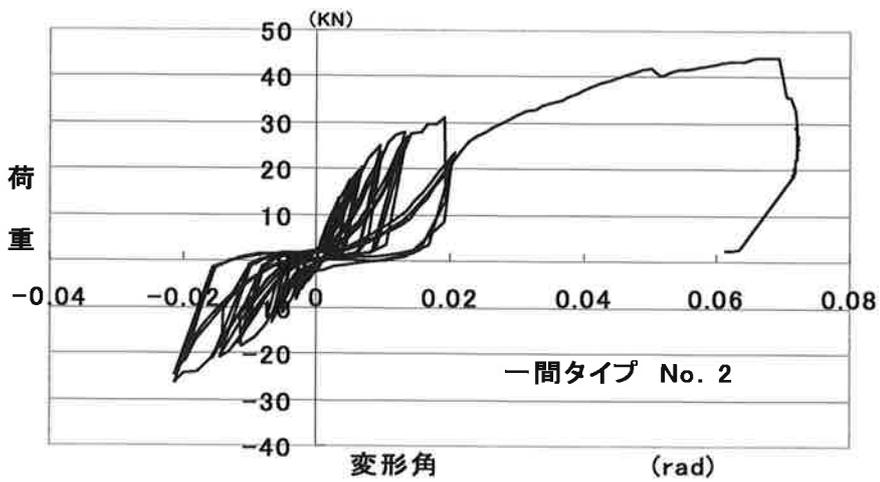
壁倍率の算出結果について一間タイプを第5-3-1表に、半間タイプを第5-3-2表に示す。試験荷重には両タイプとも  $P_u \times (0.2/D_s)$  が用いられた。算出の結果、壁倍率は一間タイプが約 4.32、半間タイプが約 3.58 となり、両タイプの壁は良好な面内せん断性能を確保できた。

#### 5.3.3 試験体の損傷状況

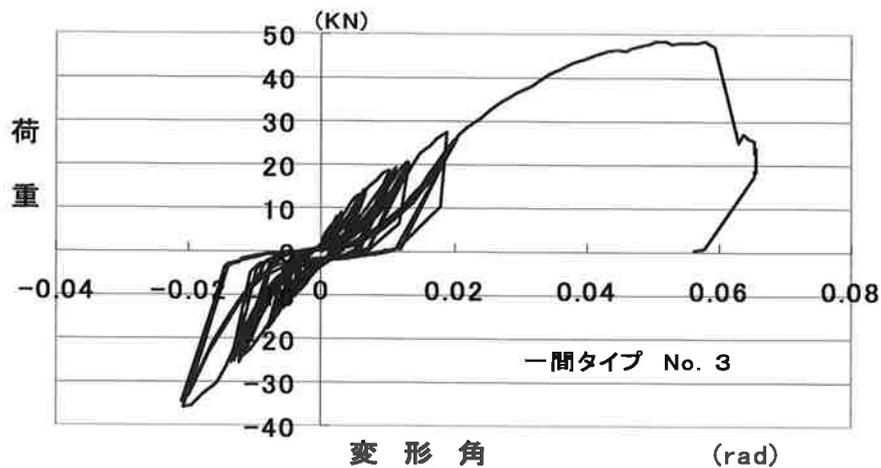
押切り後の試験体には、柱や 3CLP の浮き上がり (第5-3-7図)、裏面ビスによる栈木の割裂 (第5-3-8図)、山形プレートに打ち込まれた釘による土台および桁の割裂 (第5-3-9図) などの損傷が認められた。3CLP の壁からの離脱は認められなかった。一方、試験体解体後に 3CLP の損傷状況を調べたところ、木部の破壊、接着面のはく離などは認められず、試験前と変わらない状態を維持していた。



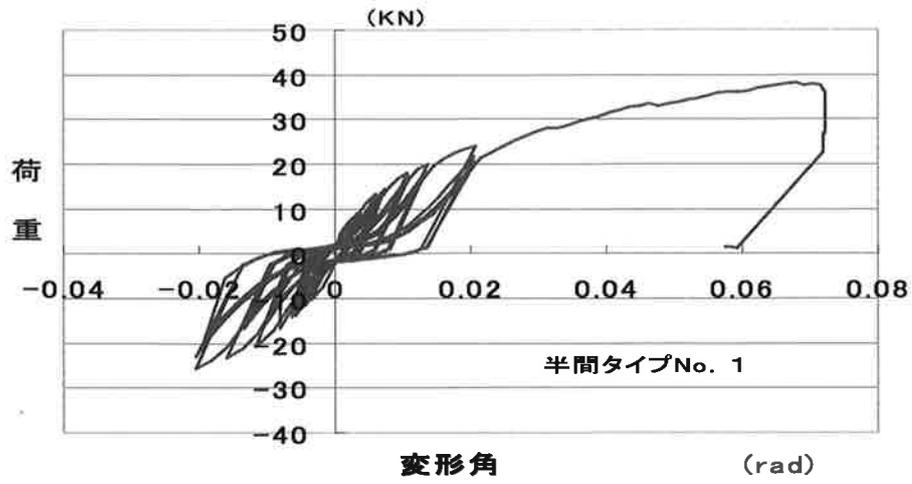
第5-3-1図 3CLPを用いた落とし込み壁の荷重-変形角曲線  
(一間タイプ No. 1)



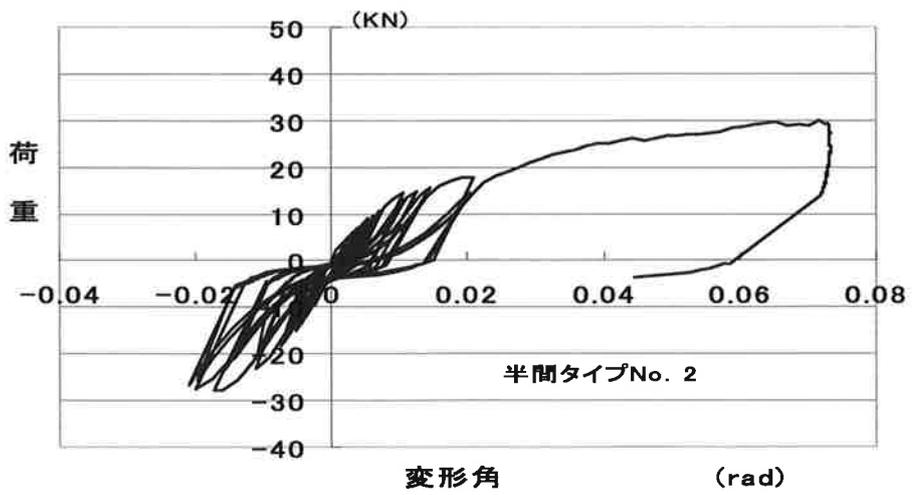
第5-3-2図 3CLPを用いた落とし込み壁の荷重-変形角曲線  
(一間タイプ No. 2)



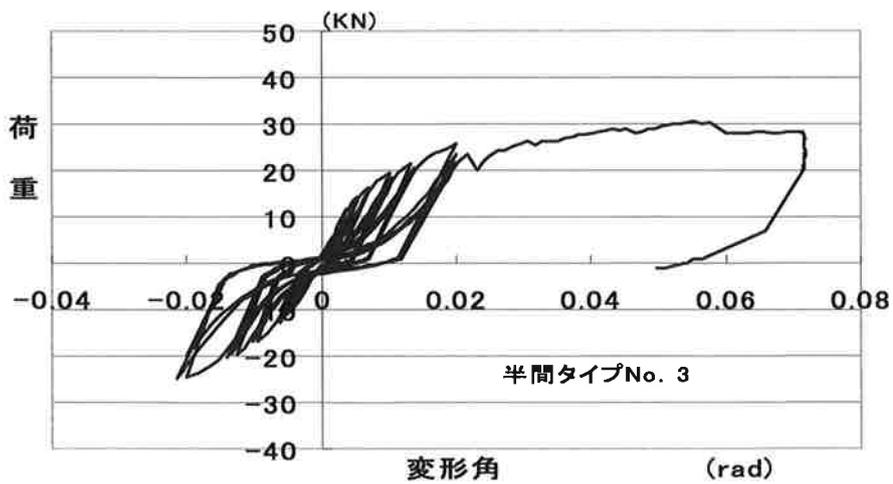
第5-3-3図 3CLPを用いた落とし込み壁の荷重-変形角曲線  
(一間タイプ No. 3)



第5-3-4図 3CLPを用いた落とし込み壁の荷重-変形角曲線  
(半間タイプ No. 1)



第5-3-5図 3CLPを用いた落とし込み壁の荷重-変形角曲線  
(半間タイプ No. 2)



第5-3-6図 3CLPを用いた落とし込み壁の荷重-変形角曲線  
(半間タイプ No. 3)

第5-3-1表 壁倍率計算表 (一間タイプ)

		単位	①	②	③	平均値	平均値× ばらつき 係数
1/120変形時耐力	P120	kN	17.19	23.70	16.56	19.15	18.21
2/3Pmax	2/3Pmax	kN	29.81	29.54	32.26	30.54	29.96
降伏耐力	Py	kN	28.70	25.12	25.36	26.40	25.73
終局耐力×(0.2/Ds)	Pu×(0.2/Ds)	kN	15.03	21.05	15.34	17.14	16.27
最大耐力	Pmax	kN	44.71	44.31	48.39		
終局耐力	Pu	kN	41.18	36.96	44.74		
剛性	K	kN/rad	1969	2367	1483		
降伏変位	$\delta y$	rad	0.0146	0.0106	0.0171		
降伏点変位	$\delta v$	rad	0.021	0.016	0.030		
終局変位	$\delta u$	rad	0.045	0.071	0.059		
塑性率	$\mu$		2.16	4.55	1.97		
構造特性係数	Ds		0.548	0.351	0.583		
短期基準せん断耐力	PO	kN				16.27	
壁倍率	Pa					4.32	

第5-3-2表 壁倍率計算表 (半間タイプ)

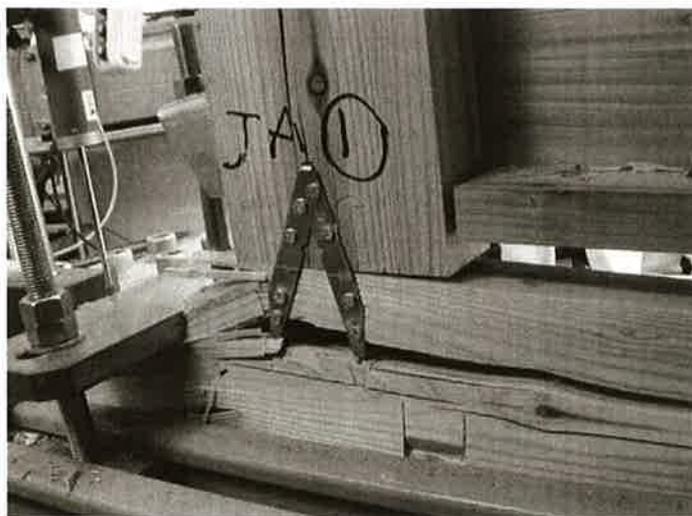
		単位	①	②	③	平均値	平均値× ばらつき 係数
1/120変形時耐力	P120	kN	15.22	11.49	17.76	14.82	13.99
2/3Pmax	2/3Pmax	kN	25.40	20.00	20.34	21.91	21.09
降伏耐力	Py	kN	20.08	15.44	19.80	18.44	17.68
終局耐力×(0.2/Ds)	Pu×(0.2/Ds)	kN	15.38	11.68	15.44	14.17	13.48
最大耐力	Pmax	kN	38.10	30.00	30.51		
終局耐力	Pu	kN	32.46	25.64	27.70		
剛性	K	kN/rad	1486	1083	1693		
降伏変位	$\delta y$	rad	0.0135	0.0143	0.0117		
降伏点変位	$\delta v$	rad	0.022	0.024	0.016		
終局変位	$\delta u$	rad	0.072	0.073	0.072		
塑性率	$\mu$		3.31	3.10	4.38		
構造特性係数	Ds		0.422	0.439	0.359		
短期基準せん断耐力	PO	kN				13.48	
壁倍率	Pa					3.58	



第5-3-7図 柱や3CLPの浮き上がり



第5-3-8図 裏面ビスによる栈木の割裂



第5-3-9図 山形プレートに打ち込まれた釘による土台及び桁の割裂

## 5.4 スギ3層クロスパネルを活用した落とし込み工法による住宅建築の実践

試験結果に示したとおり、3CLP による落とし込み工法は耐力壁として優れた性能を有していることが明らかとなった。現在鳥取県内では、3CLP を使った落とし込み工法による住宅建築が実践され始めている。ここでは事例の一つについて概説する。

この建築物（第5-4-1図）は、鳥取県内で建築された店舗兼住宅（設計・監理：Ms 建築設計事務所、施工：（有）音田工務店）である。この建物の壁体の一部にはスギ3層クロスパネルによる落とし込み壁が採用されている（第5-4-2図）。120mm 角の柱への落とし込みの場合、柱の真中から室内側に溝加工を行うことで室内側の「散り」が24mm となるため納まりがよい。裏面から打ち付けた栈木は60mm 角の垂木材を使用しており（第5-4-3図）、地域で入手しやすい断面で価格も手頃な材料を有効に活用している。この栈木を打つことによって3CLP の反りやがたつきを抑えることができ、断熱材も栈木の間にきれいに納まる。さらに3CLP の厚みが保温性能の向上にもつながる。

床にも3CLP がふんだんに使用されている。特に、2階床材は下地と1階天井の兼用（第5-4-4図、第5-4-5図）になっており、化粧面を天井面にすることによる部材の簡素化と、厚みを活かした保温・断熱効果が期待できる。さらに、屋根下地材としても3CLP が応用できる。

住宅建築の工法はこれまで数多く提案されているが、今回の面内せん断試験により、3CLP にとって落とし込み工法は、3CLP の持つ様々な特長を引き出すことが出来る優れた工法であることが明らかとなった。壁倍率が取得できれば、さらに普及が進むものと期待される。

落とし込み工法で建築された実際の住宅に関する3CLP の反りの程度や温熱特性についてはまだ知見が得られていない。3CLP の住宅部材としての品質向上のためにも、今後、これらに関するデータの蓄積が求められる。



第5-4-1図 落とし込み工法によって建築中の  
店舗兼住宅



第5-4-2図 落とし込み工法の施工状況



第 5-4-3 図 3CLP 裏面の栈木の設置状況



第 5-4-4 図 1 階から見た天井面(3CLP 表面) の状況



第5-4-5図 2階から見た床下地面（3CLP裏面）の状況

## 5. 5 要約

スギ3層クロスパネルの種々の特徴を活かした建築手法として期待される落とし込み工法について、壁体の耐力壁としての性能を明らかにすることを目的として、実際の建築設計とほぼ同じ条件で作製した実大試験体による面内せん断試験を行い、壁倍率の算出等からその性能を検証したところ、以下のことが明らかとなった。

(1) 落とし込み壁の壁倍率は一間タイプが約 4.32、半間タイプが約 3.58 で、両タイプの壁は良好な面内せん断性能を確保できることがわかった。

(2) 面内せん断試験後のスギ3層クロスパネルに木部の破壊、接着面のはく離などは認められず、試験前と変わらない状態を維持していた。

(3) 落とし込み工法は、構造耐力、意匠性等の面から、スギ3層クロスパネルの特長を活かすことの出来る優れた工法である。

## 総 括

スギ材は永らく日本で利用されてきた最も身近な素材の一つである。戦後大量に植林されてきたスギは現在利用時期を迎えており、現代の生活様式に適した活用技術の提案が求められている。近年開発されたスギ3層クロスパネルは、無垢の質感をそのままに、無垢材では得ることの出来ない幅広い面材で、施工性が良好であること、水性高分子イソシアネート系接着剤を使用しており接着剤由来によるホルムアルデヒドの放散が無いことなど、健康や安全に配慮した建築材料として消費者や建築関係者から高い注目を集めている。スギ3層クロスパネルが消費者や建築関係者に広く普及していくためにも、スギ3層クロスパネルの住宅用部材としての性能について、実際の使用環境や建築現場のニーズを的確に反映しながら検証していくことが求められている。

本論文は、スギ材を活用した新しい住宅用部材として注目されているスギ3層クロスパネルについて住宅用部材としての性能を把握、評価し、パネルの特徴を活かした利用技術を提案することを目的としている。具体的には、原材料である鳥取県産スギ丸太材の材質を明らかにしつつ、それから製造されたスギ3層クロスパネルの材質、温熱、反り、構造などの特性を使用環境や建築設計に即した条件で検証した。

第1章ではスギ3層クロスパネルの原材料の品質を把握することを目的に、鳥取県内産スギ丸太材および幅はぎ板の年輪幅や密度、ヤング係数などの材質について調査した。その結果、スギ丸太材の動的ヤング係数の平均値は  $6.86\text{GPa}$  で、これらの丸太材から得られるひき板の乾燥後のヤング係数平均値は、丸太材の動的ヤング係数よりもやや高い  $7\sim 8\text{GPa}$  程度になることが推察された。また、動的ヤング係数と視覚的指標（末口年輪数、末口年輪幅、細り率）には有意な相関関係が認められたが、実用に供するほど高くなく、視覚的指標による丸太の動的ヤング係数の区分は困難であると考えられた。さらに幅はぎ板の曲げヤング係数平均値は、化粧面用が  $7.76\text{GPa}$  裏面・中芯用が  $7.09\text{GPa}$  で、幅はぎ板を曲げ性能による選別を行わずにスギ3層クロスパネルを生産しても、AQの曲げ性能基準をクリアすることは十分可能であることが明らかになった。

第2章ではスギ3層クロスパネルの住宅用部材としての材質並びに強度特性を明らかにすることを目的として、パネル単体の密度や節径、曲げ性能などを調べ、その特徴について検討した。その結果、スギ3層クロスパネルの曲げ性能(スパン方向と主繊維方向との角度が $0^{\circ}$ )はMOE、MORともに35mm厚の既存の針葉樹合板と同等以上の性能を示した。また、AQ基準に準じた格付けでは、無選別のスギ3層クロスパネルはMOE下限値からE60相当であることが明らかとなった。さらにスギ3層クロスパネルのMOEとMORの間には高い正の相関関係が認められた。一方、Ksum(中央350mm区間における節径の合計)とMORの間に負の相関関係が認められ、幅はぎ板製造における幅方向での節の連続が曲げ性能に影響を与えている可能性が示唆された。

第3章ではスギ3層クロスパネルの住宅用下地材としての温熱特性を把握することを目的として、床暖房システムを想定した小試験体によるモデル試験を行った。その結果、加熱停止後の保温性について、下地材裏面に断熱材を敷設しない場合、スギ3層クロスパネルは今回試験した全ての下地材の中で最も優れた保温性能を有していた。また、下地材裏面に断熱材を敷設した場合、スギ3層クロスパネルは合板やスギ板に比べ箱中央および床表面温度ともに同等以上の性能を有していた。スギ3層クロスパネルの電力量は、断熱材を敷設しない場合、今回試験に供した下地材の中で最も少なく、スギ3層クロスパネルを施工することによる省エネルギー効果が認められた。また断熱材を敷設すると、下地材間の電力量の差は極めて小さくなり、12mm厚さの合板とほぼ同じ値になった。

第4章では、市販されている36mm厚さのスギ3層クロスパネルについて、両面の温湿度環境の違いがパネルの変形に与える影響を調べるために、2室型環境試験機を用いた72時間連続運転による反り矢高試験を行った。その結果、スギ3層クロスパネルの反り量は、試験開始後8時間までは急激に増加し、その後は緩やかに上昇した。その際に、局部的に大きな反りは発生しなかった。次に、スギ3層クロスパネル表面の平衡含水率の違いによってパネルの反りの挙動は大きく変化した。特に脱湿がスギ3層クロスパネルの反り量に大きな影響を与えた。幅はぎ板の繊維方向を直交させるスギ3層クロスパネルは、幅はぎ板を平行に積層接着したパネルに比べ、反り量を対角線方向で半分以下に軽減でき、市販のカラーフローア(厚さ15mm)と構造用合板(厚

さ 12mm)を組み合わせたフローリングと比べると同程度の反り量であった。捨て張りはスギ3層クロスパネルの反りを簡便に軽減する手法として有効である。またパネル各層の厚さを変えることでパネルの反り量は変化し、表面 9mm、中芯 18mm、裏面 9mm とした場合に幅方向と対角線方向の反りの抑制効果が認められた。

第5章では、スギ3層クロスパネルの特徴を活かすことのできる建築工法として「落とし込み工法」に注目し、耐力壁体としての性能を明らかにすることを目的として、実大試験体による面内せん断試験を行い、壁倍率の算出等からその性能を検証した。その結果、壁倍率は一間タイプが約 4.32、半間タイプが約 3.58 で、良好な面内せん断性能を確保出来ることがわかった。また、試験後のスギ3層クロスパネルに木部の破壊、接着面のはく離などは認められず、試験前と変わらない状態を維持していた。

国産材の有効利用、とりわけ人工林スギ材の活用は、日本国内の森林を健全に維持、循環させていくための最も重要な取り組みの一つであり、それには住宅用部材としての需要開拓が必須である。今回の研究を通じてスギ3層クロスパネルは、住宅用部材として多くの魅力と可能性を秘めた製品であることを明らかにすることができた。しかし、本研究で得られた成果はその一部にすぎない。接合金物や接着剤、建築設計の技術は日々進化を遂げており、スギ3層クロスパネルもその流れを的確に把握し、その時々々の技術に対応した製品として先んじて消費者にそのメリットを提案していくことが求められる。このことは産業全てに当てはまることであろうが、スギ材の活用と地域の活性化のために、産学官がそれぞれの立場で知識と技術を駆使し、一丸となって取り組んでいくことが何よりも望まれる。

スギ3層クロスパネルをはじめとする国産材木質製品の利用が、快適な住空間の創出に役立ち、ひいては木材産業の発展と地域の森林資源の健全な育成・循環に貢献できると筆者は確信している。本研究がその一助となることを期待して総括とする。

## 引用文献

- 1) 古川郁夫・小泉純・矢部浩・堤誠司・佐藤真美：古代から近世までの山陰地方において利用された木材の樹種選択性、鳥取大学農学部演習林研究報告、**24**、39-50(1996)
- 2) 農商務省山林局：木材の工藝的利用（復刻版第二号）、財団法人林業科学技術振興所、東京(1985)
- 3) 鳥取県：平成 17 年度鳥取県林業統計、1-17(2005)
- 4) 林野庁：平成 18 年版森林・林業白書（森林及び林業の動向に関する年次報告）、社団法人日本林業協会、東京、125（2006）
- 5) 林野庁：平成 18 年版森林・林業白書（森林及び林業の動向に関する年次報告）、社団法人日本林業協会、東京、161（2006）
- 6) 社団法人全国木工機械工業会：平成 9 年度住宅資材性能規定化対策事業成果報告書（自動製材等トータルシステム開発事業）、1-28(1997)
- 7) 社団法人全国木工機械工業会：平成 10 年度住宅資材性能規定化対策事業成果報告書（自動製材等トータルシステム開発事業）、1-37(1998)
- 8) 社団法人全国木工機械工業会：平成 11 年度住宅資材性能規定化対策事業成果報告書（自動製材等トータルシステム開発事業）、1-33(1999)
- 9) 溝口忠・池田潔彦・小野和博・櫻川智史・宇田孝彦・浅井正幸：スギ板材を活用した構造用 3 層ボードの開発、第 48 回日本木材学会大会研究発表要旨集、600(1998)
- 10) 池田清彦・溝口忠・宇田孝彦・浅井正幸：スギ 3 層クロスボードの開発、木材工業、**55**（6）、280-284（2000）
- 11) 内迫貴幸・徳田迪夫・鈴木直之・泉貴史：スギ素材を仕上げに利用した木質面材料の開発、三重大学生物資源科学部演習林報告、**25**、19-33(2002)
- 12) 朴漢玫・伏谷賢美・大塚武・中島岳彦・佐藤敬一・卞熙燮：スギ材を用いた直交型積層材の静的曲げ強度性能に及ぼす年輪傾角の影響、木材学会誌、**47**（1）、22-32(2001)
- 13) 朴漢玫・伏谷賢美・久保隆文・佐藤敬一・卞熙燮：スギ材を用いた直交型積層材の曲げクリープ性、木材学会誌、**48**（3）、166-177(2002)

- 14) 朴漢玫・伏谷賢美：スギ材を用いた直交型3層積層材の曲げクリープ性能に及ぼす表・中層ラミナの構成割合の影響、木材工業、60(12)、636-641(2005)
- 15) 田中圭・井上正文・城井秀幸：スギ3層パネルの有効利用に関する研究（その1）床の曲げ性能について、第52回日本木材学会大会研究発表要旨集、274(2002)
- 16) 江川豊宏・田中圭・早川亜季・井上正文：大分県産スギ集成パネルの有効利用に関する研究（その2）床に用いた場合の強度性能、日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）、211-212(2002)
- 17) 中尾裕樹・田原賢・秋山真一・井上雅英：杉3層クロスパネルの面内せん断試験、日本建築学会大会学術講演梗概集（東北）、287-288(2000)
- 18) 鍋野友哉・青木謙治・安藤直人：木ダボ接合によるスギ3層パネル床構面の水平せん断性能、第54回日本木材学会大会研究発表要旨集、217(2004)
- 19) 遠矢良太郎・山下和博・有村義幸・有馬孝禮：スギ幅はぎ材を用いた壁体のせん断耐力、第44回日本木材学会大会研究発表要旨集、392(1994)
- 20) 町田綾野・安藤直人：湿度変動下のスギ3層ボードの反り、第51回日本木材学会大会研究発表要旨集、264(2001)
- 21) 財団法人 日本住宅・木材技術センター：優良木質建材等の品質性能評価基準（合板加工製品、集成・積層製品・その他編）、41(2004)
- 22) 山吉栄作：スギ丸太内木取り位置別のラミナのヤング係数、三重県科学技術振興センター林業技術センター研究報告、12、4(2000)
- 23) 寺床勝也・藤田晋輔・服部芳明：高隈演習林産スギ材の強度性能（I）丸太のヤング係数と木取り位置による選別効果、鹿児島大学演習林研究報告、27、25(1999)
- 24) 小泉章夫・飯島泰男・佐々木貴信・川井安生・岡崎泰男・中谷浩：秋田県産スギ材の強度特性（第1報）丸太のヤング率、木材学会誌、43(1)、46-51(1997)
- 25) 有馬孝禮・丸山則義・早村俊二・中村昇・名波直道：周波数分析による丸太区分とその製品生産工程への応用、材料、42(473)、141-146(1993)
- 26) 飯島泰男・小泉章夫・岡崎泰男・佐々木貴信・中谷浩：秋田県産スギ材の強度特性（第3報）丸太とひき板材質の関連、木材学会誌、43(2)、159-164(1997)
- 27) 荒武志朗・森田秀樹：宮崎県南部地域産スギ集成材の材質（第1報）丸太の区分と木取りによるラミナの選別、木材学会誌、45(2)、111-119(1999)

- 28) 財団法人 日本住宅・木材技術センター:優良木質建材等の品質性能評価基準(合板加工製品、集成・積層製品・その他編)、床用3層パネル、37-47(2004)
- 29) 渡邊洋子他5名:第51回日本木材学会大会研究発表要旨集、269(2001)
- 30) 森林総合研究所監修:木材工業ハンドブック、丸善株式会社、東京、619(2004)
- 31) 株式会社東レリサーチセンター調査研究部門:建築用床材料・工法、株式会社東レリサーチセンター(1997)
- 32) 「床暖房設計・施工マニュアル」編集委員会編:床暖房設計・施工マニュアル、株式会社オーム社(2005)
- 33) 榑崎正也:住まいのエコ・トータルプラン、106-107、海青社(2006)
- 34) 岩前篤:夏季の住宅床下の高湿性状、GBRC、101(1)、39-45(2001)
- 35) 吉田弥明:木質積層パネルの反りについてーその理論的考察ー、林産試験場月報、(5)、5-9(1973)
- 36) 財団法人 日本住宅・木材技術センター:品質・性能向上技術調査・開発事業報告書(2001)
- 37) 佐道健:水分変化による木材の寸法と形状の変化、木材保存、22(2)、77(1996)
- 38) 財団法人 日本住宅・木材技術センター:優良木質建材等の品質性能評価基準(合板加工製品、集成・積層製品・その他編)、床用3層パネル、46(2004)
- 39) 財団法人 日本住宅・木材技術センター:木造軸組工法住宅の許容応力度設計(第3版)、133-134(2004)

## 謝 辞

本研究の遂行並びに本論文の作成にあたり、研究全般にわたって終始懇切な御指導と激励を賜った、鳥取大学農学部教授 農学博士 古川郁夫先生、鳥根大学生物資源科学部教授 農学博士 西野吉彦先生、鳥取大学農学部教授 農学博士 日置佳之先生に、衷心より感謝申し上げます。

そして本研究を遂行するにあたり、在職のまま鳥取大学大学院連合農学研究科での研究を許可され、研究遂行のために多くの御配慮を賜った、鳥取県林業試験場 清水章雄場長ならびに歴代場長、試験場職員の皆様、特に農学博士 大平智恵子室長をはじめとする木材利用研究室の諸氏に対し、心から感謝申し上げます。

さらに、本研究の実施にあたり、スギ3層クロスパネルの試作や資料提供などで協同組合レンダス、スギ丸太の材質調査で株式会社米子木材市場生山支店、試験機器の使用等で鳥取県商工労働部産業技術センター有機材料科、試験体の設計や建築工法に関する情報提供で有限会社音田工務店 音田猛氏、スギ3層クロスパネル開発経緯に関する資料の提供で木構造振興株式会社 西村勝美氏、試験体作製やデータ計測で鳥取大学農学部卒業生 吉村明子氏に多大な協力を頂いた。ここに深く感謝申し上げます。

その他多くの方々の御指導と御協力、暖かい励ましに支えられて本論文を作成することができたことをここに記し、感謝の意を表します。

## 和文摘要

循環型社会の構築において、持続可能な森林資源から得られる木質資源に高い関心が集まっている。中でもスギは日本で最も豊富な森林資源で、戦後、日本の森林では多くのスギが植林されたが、現在それらを利用する段階に入っており、その活用方法について様々な取り組みが行われている。その一つとしてスギ3層クロスパネルが挙げられる。スギ3層クロスパネルはスギ幅はぎ板を繊維方向が互いに直交するように3枚積層接着した、壁や床などの住宅用面材である。スギ3層クロスパネルの製造方法について概説すると、まず、丸太を16~17mm厚さに製材しラミナとする。ラミナは人工乾燥を行ったのち14mm厚さに調製され幅はぎされる。幅はぎ板はプレーナーで12mm厚さに加工後、繊維方向が直交するように3枚を積層接着しクロスパネルとなる。

近年スギ3層クロスパネルは、無垢の質感、接着剤由来によるホルムアルデヒドの放散が無いことによる健康や安全性などが施主や建築家から注目を集めている。スギ3層クロスパネルに対する消費者の一層の支持を得るためには、スギ3層クロスパネルの住宅用部材としての性能を実際の使用環境に即して検証することが必要である。

本研究は、スギ3層クロスパネルの住宅用部材としての性能を評価し、スギ3層クロスパネルならではの特徴が活きる利用技術を提案することを目的とする。まず、鳥取県産スギ丸太材と幅はぎ板の材質を明らかにし、地域産スギ材のパネル原材料としての性能を把握した。そして、スギ3層クロスパネルの曲げ、温熱、反りの特性について検証した。さらに、スギ3層クロスパネルの特徴が活きる工法として「落とし込み工法」に注目し、その耐力壁としての面内せん断性能を明らかにした。

### 1. スギ3層クロスパネル用丸太材及び幅はぎ板の材質と曲げ性能

スギ3層クロスパネル(3CLP)の原材料の品質を把握することを目的に、スギ丸太材および幅はぎ板の年輪幅や密度、ヤング係数などの材質について調査し、以下のことが明らかとなった。

(1) スギ丸太材の動的ヤング係数の平均値は6.86GPaであった。この結果から、これらの丸太材から得られるひき板の乾燥後のヤング係数平均値は7~8GPa程度になることが推察された。

(2) 動的ヤング係数と視覚的指標(末口年輪数、末口年輪幅、細り率)との間には

有意な相関関係が認められたが、実用に供するほどには高くなく、視覚的指標による丸太の動的ヤング係数の区分は困難であろう。

(3) 幅はぎ板の曲げヤング係数平均値は、化粧面用が 7.76GPa 裏面・中芯用が 7.09GPa であった。幅はぎ板を曲げ性能による選別を行わずに 3CLP を生産しても、日本住宅・木材技術センターの AQ 基準の曲げ性能基準値を上回ることは十分可能である。

## 2. スギ 3 層クロスパネルの住宅用部材としての材質と強度特性

スギ 3 層クロスパネル(3CLP)の住宅用構造部材としての材質および強度特性を調べた。3CLP の曲げ試験は中央集中荷重で行い、MOE (曲げヤング係数)、MOR (曲げ強さ) を算出した。また、両数値と 3CLP の節径や密度などとの関係を調べたところ、以下のことが明らかとなった。

(1) 3CLP の曲げ性能は MOE が 7.85GPa 、MOR が 41.9MPa であった。MOE、MOR とともに 35mm 厚の既存の針葉樹合板と同等以上の性能を示した。またこのロットを AQ に準じて格付けすると、MOE 下限値から E60 相当であった。

(2) 3CLP の MOE と MOR の間に高い正の相関関係が認められた。

(3) Ksum (中央 350mm 区間における節径の合計) と MOR の間に負の相関関係が認められ、幅はぎ板製造における幅方向での節の連続が曲げ性能に影響を与えている可能性が示唆された。

## 3. スギ 3 層クロスパネルの住宅用下地材としての温熱特性

36mm 厚さのスギ 3 層クロスパネル(3CLP)、12mm 厚さの合板、20mm 厚さのパーティクルボード、12mm 厚さのスギ板の、住宅用下地材としての温熱特性を把握するため、床暖房システムを想定したモデル試験を行った。各パネルは 300×300mm の小試験体に加工し、同じ寸法のフローリングとの間に面状発熱体(200×200mm)を敷設し、さらにフローリングの上に発泡性断熱材で作製した箱 (内法: 300(W)×300(D)×900(H)mm) をかぶせた。発熱体の加熱温度は 50℃とし、8 時間連続して加熱し、箱内部、フローリング表面、下地材表面の温度および消費電力を測定した。その結果、以下のことが明らかとなった。

(1) 下地材のみの場合、3CLP は今回試験した全ての下地材の中で最も優れた保温

性能を有していた。また、消費電力は 3CLP が最も少なかった。

(2) 断熱材の敷設により、下地材間の消費電力の差は小さくなった。

(3) 保温性と電力量は、各下地材の熱容量および熱貫流率の特性を反映していた。

#### 4. スギ3層クロスパネルの住宅用床・壁材としての反り特性

本章は、市販されている 36mm 厚さのスギ3層クロスパネル(3CLP)について、両面の温湿度環境の違いがパネルの変形に与える影響を調べることを目的としている。3CLP を2室の温度と湿度が独立して制御できる環境試験機に設置し、72時間連続運転による反り矢高試験を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

(1) 3CLP の反り量は、試験開始後8時間までは急激に増加し、その後は緩やかに上昇した。また3CLP は、部分的に大きな反りを発生させなかった。

(2) 3CLP は表面の平衡含水率の違いによってパネルの反りの挙動は大きく変化し、3CLP の一方が吸湿、もう一方が脱湿の時に反り量が最大を示した。

(3) 3CLP は、カラーフローアー(厚さ15mm)と構造用合板(厚さ12mm)を組み合わせたフローリングと比べると同程度の反り量を示した。

(4) 捨て張りは3CLP の反り軽減に有効である。

(5) 3CLP 各層の厚さを変えることで3CLP の反り量は変化し、表面9mm、中芯18mm、裏面9mmの組み合わせが反りを最も抑制した。

#### 5. スギ3層クロスパネルの落とし込み壁体としての構造性能と住宅建築への活用

スギ3層クロスパネル(3CLP)の特徴を活かした建築手法として期待される落とし込み工法について、壁体の耐力壁としての性能を明らかにすることを目的として、実際の建築設計とほぼ同じ条件で作製した実大試験体による面内せん断試験を行い、壁倍率の算出等からその性能を検証したところ、以下のことが明らかとなった。

(1) 落とし込み壁の壁倍率は一間タイプが約4.32、半間タイプが約3.58で、両タイプの壁は良好な面内せん断性能を確保出来ることがわかった。

(2) 面内せん断試験後のスギ3層クロスパネルに木部の破壊、接着面のはく離などは認められず、試験前と変わらない状態を維持していた。

(3) 落とし込み工法は、構造耐力、意匠性等の面から、3CLP の特徴を活かすことの出来る優れた工法である。

今回の研究を通じてスギ3層クロスパネルは、住宅用部材として多くの魅力と可能性を秘めた製品であることを明らかにすることができた。しかし、本研究で得られた成果はその一部にすぎない。接合金物や接着剤、建築設計の技術は日々進化を遂げており、スギ3層クロスパネルもその流れを的確に把握し、その時々々の技術に対応した製品として、先んじて消費者にそのメリットを提案していくことが求められる。スギ材の活用と地域の活性化のために、産学官がそれぞれの立場で知識と技術を駆使し、一丸となって取り組んでいくことが何よりも望まれる。

スギ3層クロスパネルをはじめとする国産材木質製品の利用が、快適な住空間の創出に役立ち、ひいては木材産業の発展と地域の森林資源の健全な育成・循環に貢献することを確信している。

## Summary

Wood-based materials have gathered much attention in order to create a recycling-oriented society, because these materials are sustainable forest resources. Sugi (*Cryptomeria japonica* D.Don) wood is one of the most abundant forest resources and has been used for many kinds of wood products in Japan. After World War II, huge areas of Sugi forests were estimated in Japan. Nowadays, the time has come for utilizing them. So, many trials have been attempted to convert Sugi wood to environmentally-friendly industrial products. It is necessary to propose new technology for developing the items suitable for the modern life-style by using Sugi wood. A smart application is the three-cross-layered panel (3CLP) which will be applied for housing construction such as wall and floors. The 3CLP is a kind of wood panel which consists of three woods panels accumulated orthogonally with the direction of fiber. The 3CLP are produced as follows. First, laminae of 16 ~ 17mm thickness are sawn from Sugi logs. After artificial drying, laminae are shaved to a 14mm thickness, and the element panels are produced by edge-joint of laminae. The element panels are shaved 12mm thick, and the three element panels are accumulated orthogonally with the direction of fiber.

Nowadays, many consumers and builders are interested in the 3CLP, because 3CLP has a woody texture and is healthy and safe (uses a non-formaldehyde adhesive) for habitants. In order to gain support for 3CLP from consumers, it is necessary to evaluate the performance by utilizing 3CLP in actual housing conditions.

The purposes of this study are to clarify the physical and mechanical performances of 3CLP as housing members, and to propose the architectural skills which are necessary for the utilization of 3CLP. Especially, first, the physical and mechanical properties of Sugi logs and the element panels were investigated. The bending properties, the thermal properties, and the warp behavior of 3CLP were also investigated. In addition, the newly developed method of "OTOSHIKOMI Wall (a bearing wall which panels are dropped in between column slits)" was proposed,

and the 3CLP wall performance was experimentally studied.

### **1 . The physical and mechanical properties of Sugi log and element panel for 3CLP production**

In order to clarify the quality of the raw material Sugi, ring width, density and the Young's modulus of Sugi logs and edge-jointed element panels were examined. The obtained results are as follows:

(1) The mean dynamic Young's modulus of Sugi logs was 6.86 GPa. As the result, the mean of the dynamic Young's modulus of dried Sugi lumbers sawn from the logs was estimated to be 7~8 GPa.

(2) The mean dynamic Young's modulus and the indices of visual wood quality (such as number of tree rings at top end tree logs, mean tree ring width, tapering rate of the logs of Sugi logs) showed significant correlation. However, this correlation was not so high on practical use. Therefore, it would be difficult to estimate the dynamic Young's modulus by using visual indices.

(3) The mean Young's modulus of the element panels was 7.76GPa in the case of the surface panel, 7.09GPa in the center and back panel. Thus, even if the element panels were not classified by bending properties, we can estimate that final products of 3CLP would be able to exceed the Approved Quality (AQ) Standard of Japan Housing and Wood Technology Center.

### **2 . The mechanical properties of 3CLP as a housing material**

The mechanical properties of 3CLP were investigated. The bending test of 3CLP was carried out under the centralized loading. Then the MOE (modulus of elasticity in bending) and the MOR (modulus of rupture in bending) were calculated, and both values were compared with knot length, density and so on. The obtained results are as follows:

( 1 ) MOE and MOR of 3CLP were 7.85GPa and 41.9MPa respectively, and were the same as that of coniferous plywood of 35mm thickness. In addition, the mechanical grading class in 3CLP was ranked as E60 based on the AQ standard.

( 2 ) The relationship between MOE and MOR showed positive correlation in the 1% significant level.

( 3 ) The relationship between Ksum( sum of knot length in the central 350mm section ) and MOR showed negative correlation. Therefore, the series of knots on the element panel would have a negative effect on mechanical properties.

### **3 . Thermal properties of 3CLP applied on the housing under-laid panel**

Thermal properties (temperature and power consumption) of the 3CLP which was applied beneath the floor heating system as an under-laid panel were investigated. 3CLP of 36mm thickness was compared with plywood of 12mm thickness, a particleboard of 20mm thickness and a Sugi edge-jointed panel (element panel) of 12mm thickness. Small scale panels (300×300mm) were made as the test pieces, and a heater(200×200mm) was installed between the color floor and the panel. In addition, an insulation box was installed on the flooring. Temperature of the heater was set up to 50°C, and the test system was heated continuously for 8 hours. The temperature (in the box, surface of the flooring, surface of the under-laid panel) and power consumption were measured. The obtained results are as follows:

( 1 ) In the case of the panels only, it was found that the heat retention of the heating system with 3CLP was better than the other systems, and power consumption of the system with 3CLP was less than those of the others.

( 2 ) The insulator fixed under the panels reduced the differences of the power consumption among the floor heating systems with the different under-laid panels.

( 3 ) The properties of the heat retention and power consumption reflected the thermal capacity and the coefficient of heat transmission of the under-laid panels.

### **4 . Warp behaviors of 3CLP applied on housing floor and wall materials**

The characteristics of warp behavior of 3CLP under usable conditions of different temperatures and humidity were investigated. The 3CLP was installed in a

testing machine which could control temperature and humidity independently. Each side of 3CLP had been exposed under different temperature and humidity conditions for 72 hours. The obtained results are as follows:

( 1 ) The amount of warp of the 3CLP increased at first 8 hours rapidly, then it continued to increase gradually up to 72 hours. And 3CLP didn't produce a big partial warp.

( 2 ) The behavior of the warp of the 3CLP showed big difference between each side because of the difference of the equilibrium moisture contents in each side of the panel. And the 3CLP showed large warp under the conditions when one side of the panel was absorbing moisture and the other side was simultaneously releasing moisture.

( 3 ) The behavior of warp of the 3CLP was almost the same as that of the combination panel with a commercially available color-floor of 15mm thickness and a structural plywood of 12mm thickness.

( 4 ) The under-laid panel of Sugi nailed to 3CLP to reduce the warp was effective.

( 5 ) The amount of warp was dependent on changing the thickness balance of the element panel of 3CLP. The combination of 9mm (surface board)-18mm (core board)-9mm (back board) was most effective for the reduction of warp in width and diagonal direction.

#### **5. Shearing properties of "OTOSHIKOMI" wall applied on 3CLP and utilization for wooden architectures of 3CLP**

The shearing properties of "OTOSHIKOMI" wall was examined by full-length test walls. "OTOSHIKOMI" wall is a bearing wall which panels are dropped in between column slits. In this study, 3CLP were used as the panels of "OTOSHIKOMI" wall. Two types of the walls (1.82m module type and 0.91m module type) were examined by the static push-pull cyclic loading tests. The obtained results are as follows:

( 1 ) The multipliers of 1.82m module-type and 0.91m module-type were 4.32 and 3.58, respectively, and both types showed good shearing performance.

( 2 ) After the static push-pull cyclic loading tests, the pulling of the nail, the split of the sill and the plate were confirmed on the bearing walls. On the other hand, the fracture and the delamination on 3CLP were not confirmed.

( 3 ) “OTOSHIKOMI” wall is a good construction for the application of the characteristics of 3CLP.

Based on these experiments, 3CLP was revealed to be a very interesting product having many attractions and possibilities. But these results are no more than a part of many attractions. The technologies of a metal-connector, adhesive, and a design are evolving day by day. It is very important to grasp a new trend in the technology of architecture for production of 3CLP, and 3CLP has to be suggested to consumers as a product dealing with new technology. The wood industry, research organization, and government are expected to make good use of this knowledge and technology for the utilization of Sugi and activation of the region in the whole.

The utilization of domestic wood-based materials will help the creation of comfortable housing amenities, will contribute to development of the wood industry, and to maintain healthy circulation of domestic forest resources. I have expectation that this study will contribute to the above-mentioned efforts.

学位論文の基礎となる学会誌等公表論文のリスト

(基礎となる学術論文)

題 目：スギ3層クロスパネルの反りに及ぼす温湿度の影響  
著 者 名：川上敬介、古川郁夫  
学 術 雑 誌 名：木材工業  
卷 ・ 号 ・ 頁：第60巻、第5号、218-223  
発表（受理）年月日：2005年5月1日  
学位論文該当項目：第4章

題 目：住宅部材としてのスギ3層クロスパネルの曲げおよび反り特性  
著 者 名：川上敬介、古川郁夫  
学 術 雑 誌 名：森林バイオマス利用学会誌  
卷 ・ 号 ・ 頁：第1巻、第1号、9-14  
発表（受理）年月日：2005年7月1日  
学位論文該当項目：第2章、第4章

題 目：スギ3層クロスパネルの住宅用下地材としての温度特性  
著 者 名：川上敬介、古川郁夫、西野吉彦  
学 術 雑 誌 名：木材工業  
卷 ・ 号 ・ 頁：未定  
発表（受理）年月日：(受理) 2006年12月4日  
学位論文該当項目：第3章

(参考論文)

題 目：スギ丸太の動的ヤング係数の推定に寄与する因子とその実用性  
著 者 名：川上敬介、大平智恵子、熊澤孝一、盛田幸男  
学 術 雑 誌 名：鳥取県林業試験場研究報告  
卷 ・ 号 ・ 頁：第39号、17-21  
発表（受理）年月日：2001年3月25日  
学位論文該当項目：第1章

