

スギ素材を仕上げに利用した木質面材料の開発

－スギ板積層ボードの材質特性－

内迫貴幸*¹ 徳田迪夫*¹ 鈴木直之*¹ 泉 貴史*²

1. はじめに

近年住宅に求められる性能や品質は高度化し、居住者の健康に配慮した住環境の快適性、高齢者への配慮や介助のし易さ、省エネルギーで環境にやさしい等、環境共生型の住宅開発が21世紀の重要な課題となっている。建築行政においては、住宅の性能に関し平成12年4月「住宅の品質確保の促進等に関する法律」が施行され、基本構造部分における10年間の瑕疵保証の義務化や、性能表示制度による施主への情報開示が始まった。一方戦後わが国に植林されたスギ、ヒノキなどの人工林は既に伐期を迎えるにも関わらず需要は低迷し、国内林業、木材産業は危機的状況に直面している。国産材の最大の需要は製材用であり、その大半は住宅用途である。すなわちこれらの問題解決には、環境共生型の木材を再評価するとともに、高品質の木質住宅を開発し低迷した国産材の需要拡大を図る必要がある。現在三重県松阪地区では多数の木材供給団体が参加し、三重県の支援のもと県内木材産業の再編成、付加価値の高い木材製品の開発に取り組んでいる。本研究はこれら地元木材工業の積極的な商品開発意欲を背景に、特にスギ天然素材の質感を生かした木質面材料の開発を目的とした。具体的にはスギ挽き板を積層接着したボードを試作し、建築用ボードに必要な曲げやせん断、釘接合に対する機械的性質の他、長期耐力を保證する水分や温度変化に対する安定性について試験し、その材質特性について検討した。

*1 三重大学生物資源学部

*2 朝日ウッドテック（株）

2. 試 験 体

2.1 スギ板積層ボードの製造方法

スギ板積層ボードの製造方法を図-1に示した。試作したボードは仕上がり寸法910×1820(mm)で、図に示すように幅約200mmの挽き板(板目)を、繊維が直交するように3層接着積層してある。各層を構成するスギ板ラミナは厚さ5mmと7mmの2種類で、仕上がり厚さ15mm(5mm×3層)および21mm(7mm×3層)のボードを各3体製造した。ラミナの接着には住環境の問題を考慮して、ホルムアルデヒドを含有しない水性高分子イソシアネート系接着剤を用いた。なお全てのラミナは長さ方向に縦継ぎはなく、幅はぎは突き付けのみで接着しなかった。

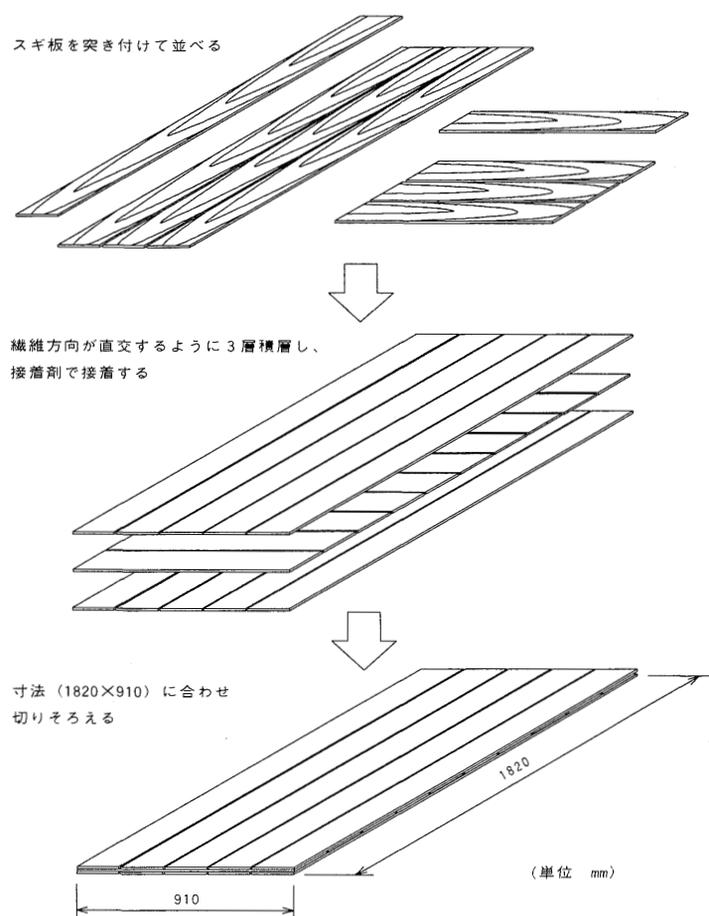


図-1 スギ板積層ボードの製造方法

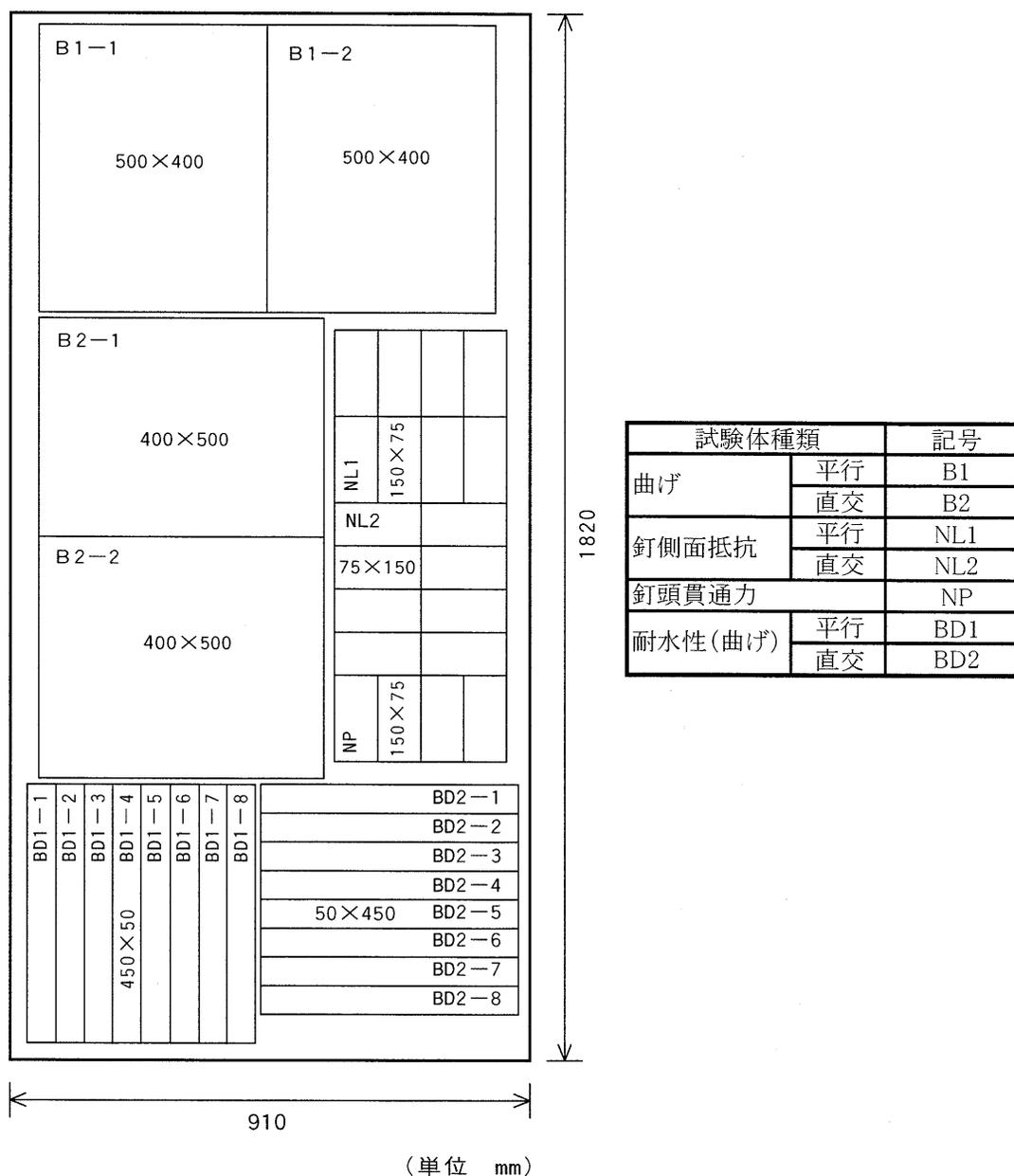


図-2 材質試験片の採取方法

2.2 材質試験体の採取方法

板厚15mmおよび21mmのボード各2体から図-2に示すように材質試験の試験片を切り出した。釘頭貫通力を除く材質試験片は、ボード表層のスギ板の繊維方向により平行と直交の2種類を区別し、1体のボードから曲げ試験で各2体、その他は各8体ずつ供試した。試験の種類と試験体数を表-1にまとめて示した。試験片の呼称にはボード厚+ボード番号(1 or 2)+試験の種類+試験片番号で表し、主として試験の種類ごとに結果の平均値で評価した。なお製造した残り各1体の実大ボードから、薄板の振動法により弾性定数を求め、その後所定のサイズを切り出して面

内せん断試験に供した。

表-1 材質試験体の種類と試験体数

試験体の種類		材厚	15mm		21mm	
		記号	151	152	211	212
曲げ試験	平行	B1	2	2	2	2
	直交	B2	2	2	2	2
釘側面抵抗試験	平行	NL1	8	8	8	8
	直交	NL2	8	8	8	8
釘頭貫通力試験		NP	4	4	4	4
耐水性(曲げ)試験	平行	BD1	8	8	8	8
	直交	BD2	8	8	8	8
面内せん断試験		LW	1		1	

2. 3 材質試験における劣化促進処理条件

試作したボードが実用化されるには、水分や温度変化に対する安定性すなわち外周条件による材質劣化について明らかにする必要がある。木質面材料の劣化促進試験にはJISA5908に定められた方法（沸騰水中に2時間、その後常温水中に1時間）があるが、ここでは種々の建築用ボード類を統一した試験方法で行なった既存のデータと比較するため、気乾（常態）と、飽水、乾湿繰り返し、煮沸による3種類の促進処理条件を設定した。各条件における処理方法の詳細は以下のようであった。

- a) 気乾（室温 20℃）
- b) 飽水（20℃±3℃の水中に24hr. 浸漬）
- c) 乾湿繰り返し（飽水（20℃±3℃の水中に4hr. 浸漬）→乾燥（60℃±3℃の乾燥機に20hr.）→飽水→乾燥→飽水
- d) 煮沸（100℃, 2hr）

なお本研究で用いたこれらの促進条件は、主として外装用ボード類を対象としたもので、内装用途を目指した本ボードの場合には厳し過ぎるが、水周り部分での使用も考慮してあえてこれを採用した。

3. 試験方法

3. 1 曲げ破壊試験

図-3に曲げ試験方法を示した。曲げ試験はJISA1408（建築用ボード類の曲げ試験方法）に準じて行い、長さ50cm×幅40cmの3号試験体とした。加力は図に示すようにスパン40cmで鋼板を介して試験片を支持し、中央集中荷重方式でスパン中央全幅にわたって線荷重を加えた。なお1体の

ボードから切り出した4枚の試験片は、表層のスギ板がスパン方向（長さ方向）と平行なもの（B1タイプ）と直交するもの（B2タイプ）に区別し、いずれも気乾状態で供試した。たわみの測定は試験体下面中央に変位計をあてて行い、荷重とたわみの関係から次式を用いて曲げヤング係数 MOE および曲げ破壊係数 MOR を求めた。

$$MOE = \frac{L^3}{4 \cdot bh^3} \cdot \left(\frac{\Delta P}{\Delta \delta} \right) \qquad MOR = \frac{3}{2} \cdot \frac{P_{max} \cdot L}{bh^2}$$

ただし、 L ：支点間距離（cm）　 b ：幅（cm）　 h ：厚さ（cm）

ΔP ：比例域における上限荷重と下限荷重の差（N）

$\Delta \delta$ ： ΔP に対応するスパン中央のたわみ（cm）

P_{max} ：最大荷重（N）

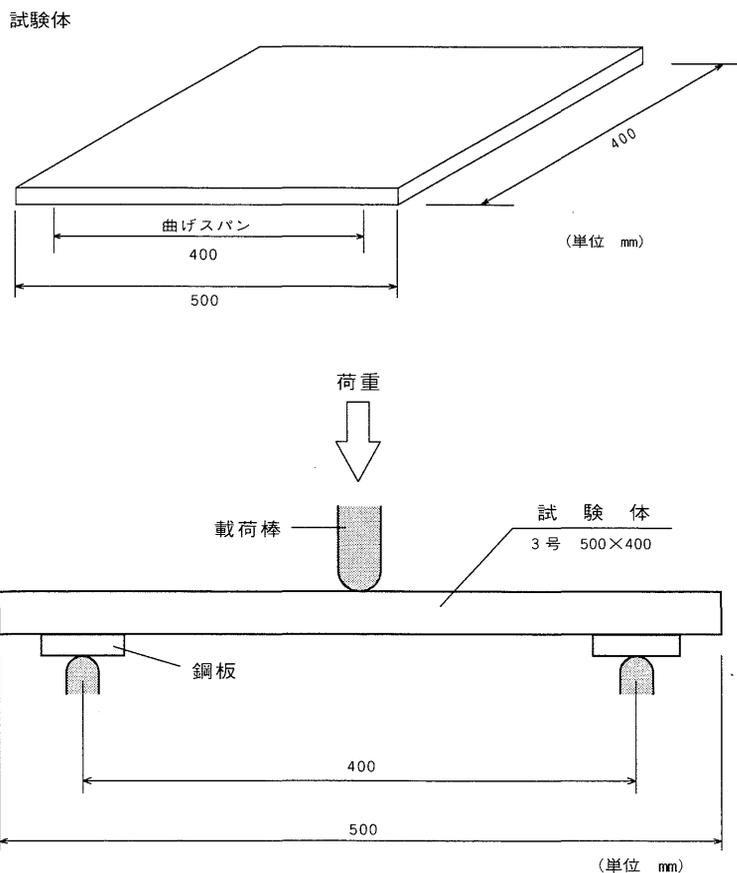


図-3 曲げ試験体および試験方法

3. 2 釘側面抵抗試験

一般にボード類を枠材に釘接合した場合に作用する力は、せん断や引き抜きであるが、これらの変形や耐力を支配するボード自身の釘に対する性能は、釘身の側面ずれや釘頭のめり込みに対する抵抗などに変換できる。そこで本試験では各ボードの釘側面抵抗、釘頭貫通力試験を種々の外周条件で行った。釘側面抵抗の試験体および試験方法を図-4に示す。試験はASTM D1037 (Lateral Nail Resistance Test) に準じて行い、長さ150mm、幅75mmの試験片にCN50釘を用いて、端部から12mmの中央位置に、釘長さのほぼ半分が貫通するように垂直に打ち込んだ。15mm厚、21mm厚ボード各2体から、表層の繊維方向が加力方向と平行 (NL1タイプ) および直交 (NL2タイプ) になるものを8体ずつ切り出し、各2体を気乾、飽水、乾湿繰り返し、煮沸の外周条件にあてた。加力は試験体下部をチャックで挟んで固定し、ボード厚に応じた治具を釘の両端に引っ掛け、試験体端部の方向に引張力を加えた。荷重速度は毎分2mmとし、釘身側面がボード内をずれるのに要する最大荷重を測定した。

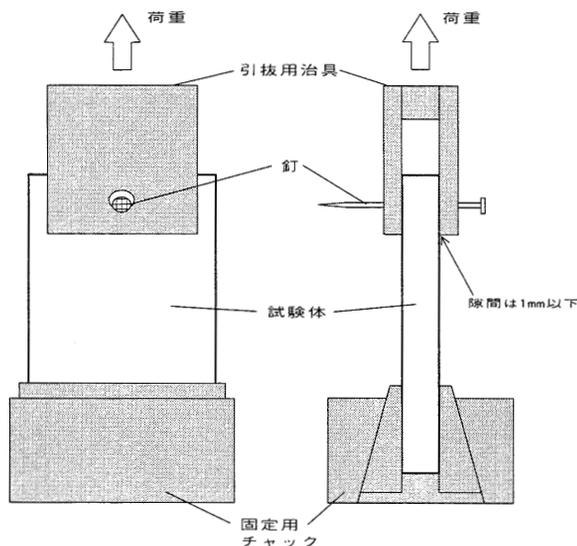


図-4 釘側面抵抗試験体と試験方法

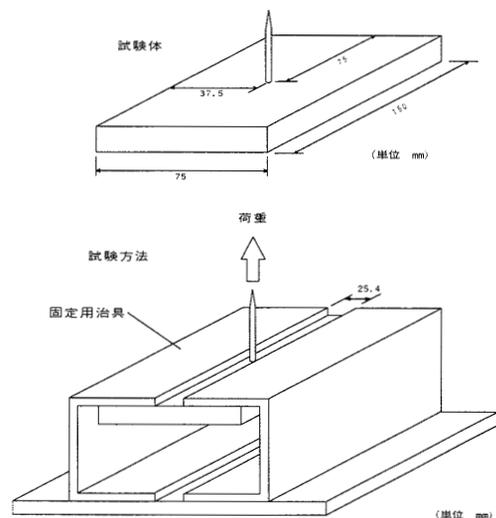


図-5 釘引き抜き抵抗力試験方法

3. 3 釘頭貫通力試験

試験体および試験方法を図-5に示す。試験はASTM D1037に準じて行い、寸法150×75mmの試験体 (NP) 中央に、CN50釘を釘頭が試験体表面に達するまで打ち込んだ。加力は図に示すようにスリットのある固定用の治具にボード部分を差込み、スリットから突き出した釘先端を治具ではさんで引張力を加えた。外周条件は2種類で、1体のボード当たり4体切出した試験片を各2体ずつ気乾および飽水の条件下で試験した。荷重速度は毎分2mm、釘頭がボードを貫通するときに生ずる抵抗力を測定し、最大抵抗力を釘頭貫通力とした。

3. 4 耐水性（曲げ）試験

耐水性試験の試験体と試験方法を図-6に示した。試験体は幅50mmでスパンは試験体厚に応じて変化させ、15mm厚で240mm、21mm厚では330mmとして厚さの15倍を確保した。同一厚さの試験体では、ボード表層の繊維方向がスパン方向（長さ方向）に対し平行（BD1タイプ）と直交（BD2タイプ）の2種類あり、15mm、21mm厚ボード各2体からそれぞれ8体ずつの試験片を切り出した。この内2体は気乾状態で試験し、残りの各2体には飽水、乾湿繰り返し、煮沸の促進処理を施した。試験は図に示すように中央集中荷重方式で行い、荷重速度2mm/分で荷重とスパン中央部の変位を測定した。なおBD2タイプの試験体では、オーバーハングの長さを調節し、加力点直下の最下層にラミナの継ぎ目がくるのを避けた。得られた結果から曲げヤング係数（ MOE ）および曲げ破壊係数（ MOR ）を求め、各条件下での気乾状態に対する残存率（%）を求めて材質の劣化を検討した。

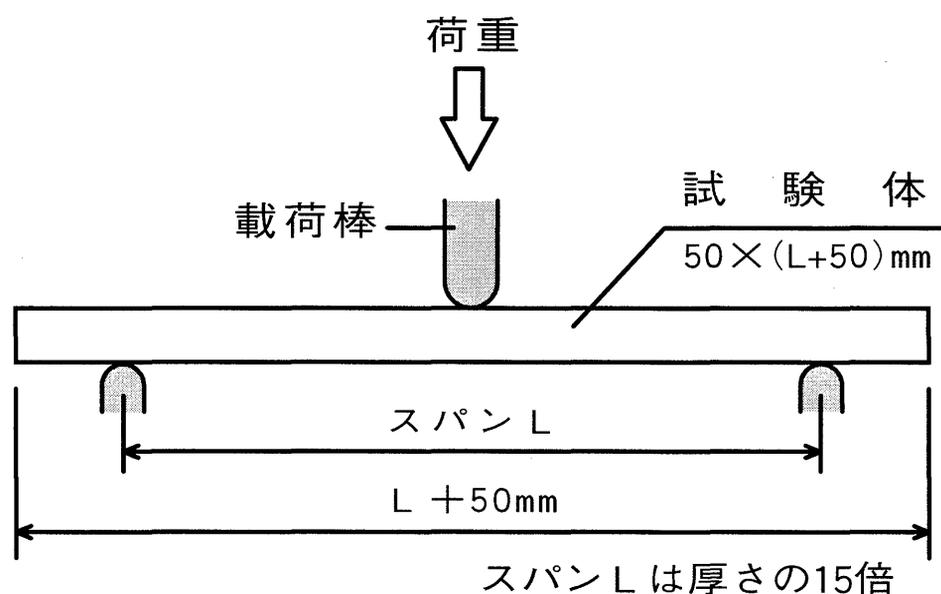


図-6 曲げによる耐水性試験方法

3.5 面内せん断試験

試験体の形状および試験方法の概要を図-7に示した。試験はLW改良法により気乾状態で行い、15mm厚と21mm厚のボードから各1体、比較のため別途市販の構造用合板（ベイマツ；5層）1体を供試した。せん断ひずみの測定は、図に示すせん断面中央に直交ストレインゲージを貼り付けて行い、荷重 P と対角線上の縦ひずみ ε_1 、 ε_2 の差から次式を用いてせん断弾性係数 G を求めた。

$$G = \frac{1}{2Lt} \cdot \frac{P}{|\varepsilon_1 - \varepsilon_2|}$$

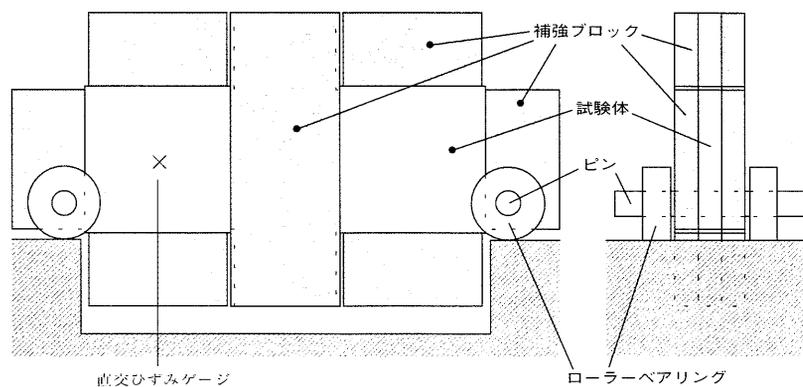
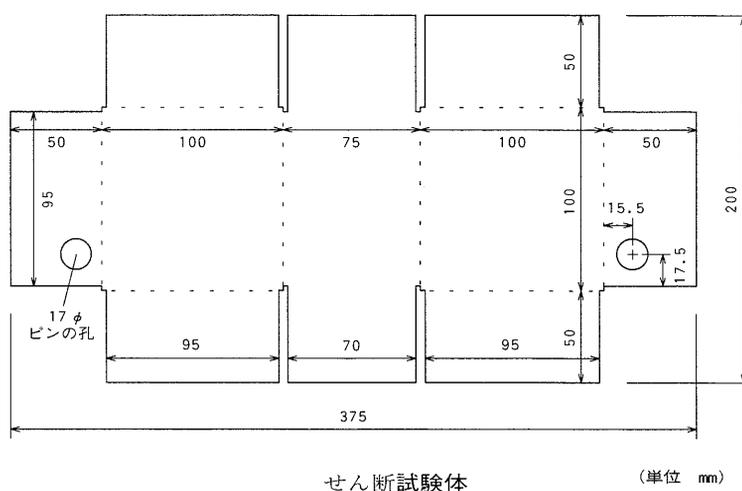


図-7 面内せん断試験体と試験方法

ただし L : 試験体辺長 t : 試験体厚さ $|\varepsilon_1 - \varepsilon_2|$: 対角線上の縦ひずみの差

3. 6 平板の振動理論による実大ボードの弾性定数の測定

木質材料を対象とした動的な手法による非破壊で簡便な材質測定は、測定機器の小型化や高性能化により既に多くの研究成果がある。しかしこれらは材質の比較的均質なボードで、かつ小試験片を対象としたものが多く、実大サイズのボードの報告例は少ない。ここでは品質管理に応用可能な動的な手法として、祖父江らの提案した方法を用い、試作したボードの動的弾性定数を測定した。試験体は寸法1820×910mmのスギ板積層ボードで、15mm厚、21mm厚ボード各1体、また比較のため市販の12mm厚構造用合板（ベイマツ、5プライ）を供試した。試験方法の概要を図-8に示した。試験体は長辺を水平にしてV型の溝に立てかけ、固定用のクッションで鉛直に支持してある。打撃による加振力はボード上辺の自由端に加え、上辺の端部と中央部で別々に応答を検出した。得られた振動波形をFFTアナライザで周波数分析し、波形の各ピークが帰属する振動モードを決定した。各振動モードの周波数の値から、長辺方向、短辺方向のヤング係数、およびせん断弾性係数を決定した。

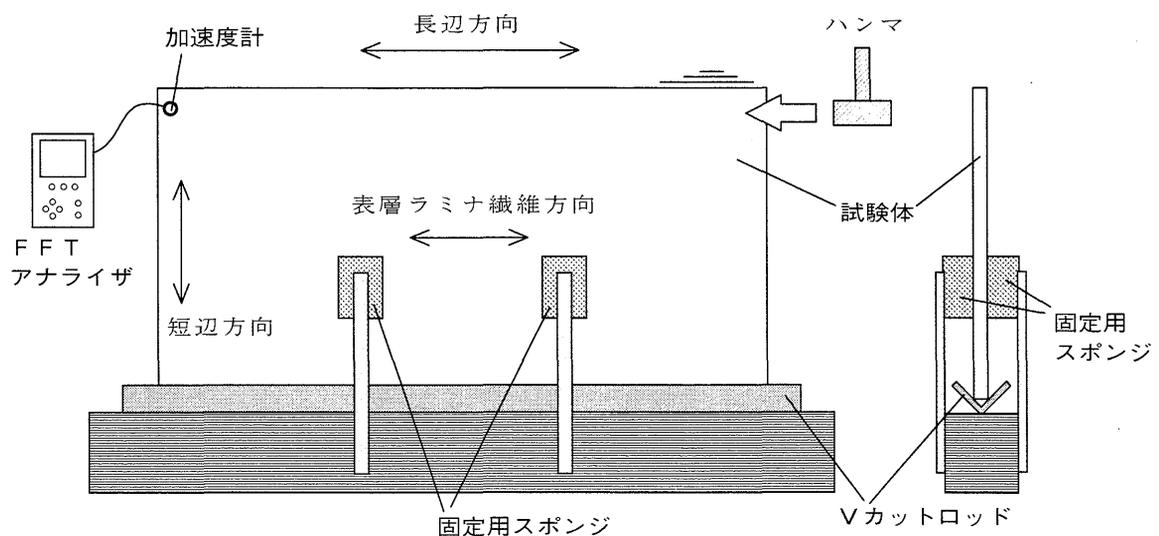


図-8 自由振動による弾性定数の測定方法

4. 結果と考察

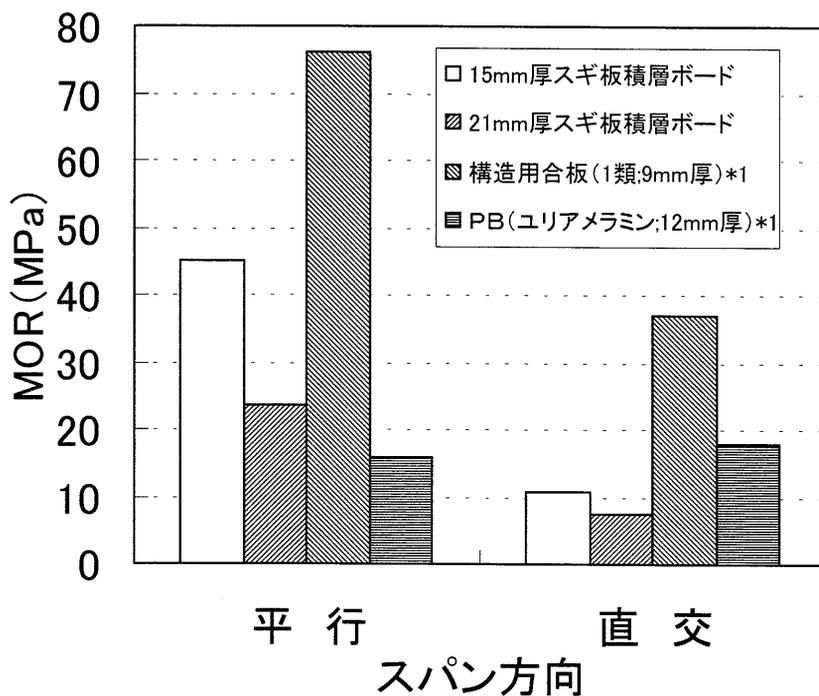
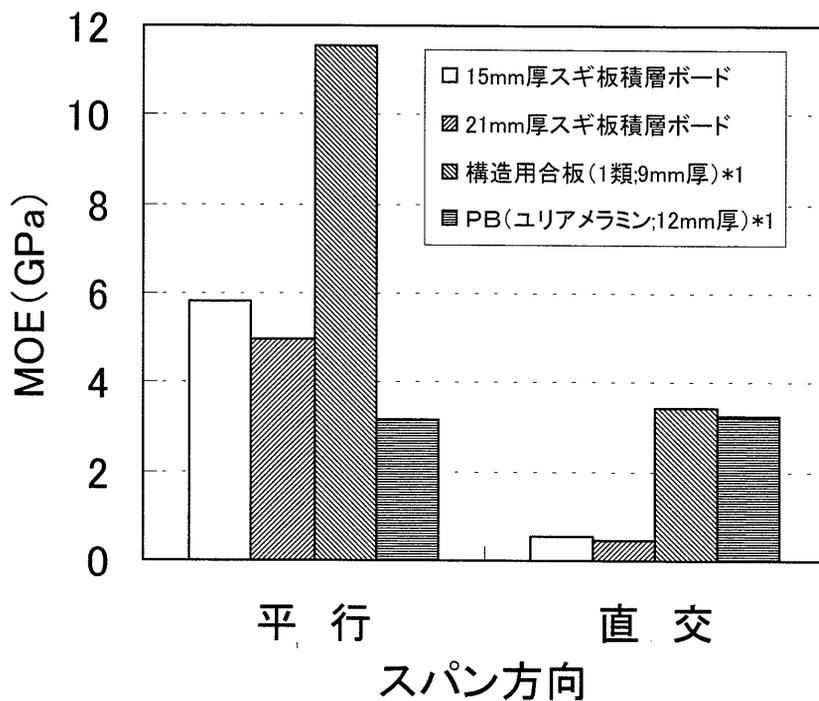
4. 1 スギ板積層ボードの曲げ性能

曲げ試験の結果を表-2示す。また同一試験方法で行われた市販の建築用ボード類の引用値と比較した結果を図-9に示した。同一ボード厚で比較すると、曲げスパンを表層の繊維方向に対し平行にとった MOE は、直交方向 MOE の約10倍、また MOR で見ても2倍程度の差がある。また構造用合板など他の木質ボード類と比べても2方向の曲げに対する性能には差があり、異方性

が大きいことがわかる。これは最外層ラミナの繊維方向の強度の違いに加え、直交方向試験体には最外層にスパンと直交する継ぎ目があることが主な原因と考えられる。ボード厚の違いで比較すると、21mm厚ボードのスパン平行タイプのMORは15mm厚に比べ極端に小さくなった。これは主として21mm厚試験体における層間の接着不良が原因であり、実験終了後の試験体から確認することができた。破壊形態を比べると、15mm厚試験体ではほとんど全ての試験体が加力線下で曲げ破壊を生じたのに対し、21mm厚試験体では接着層のせん断破壊が多かった。ラミナ自身の断面が大きい21mm厚ボードでは、ラミナが曲げ破壊に達する前に接着層によるせん断破壊を生じ、15mm厚に比べ相対的に接着の良否の影響が大きく現れたと考えられる。15mm厚のボードのMOEは他の木質ボードと比べると、ほぼ構造用合板とパーティクルボードの間にあり、実用上は問題ない。ただし直交方向ではMOE、MORとも小さいため、施工や使用部位に配慮する必要がある。本ボードのようなラミナの構成の場合、挽き板を隙間なく並べることは難しく、接着剤の塗布や圧縮方法を含めた製造方法の工夫が必要であると思われる。

表一 2 静的曲げ試験結果

試験体種類	スパン方向	試験体名	比重	最大荷重 (kN)	MOE (GPa)	MOR (MPa)
15mm厚ボード	平行	151B1-1	0.38	8.14	7.40	45.03
		151B1-2	0.37	8.09	6.27	44.43
		152B1-1	0.39	9.33	4.31	48.03
		152B1-2	0.38	8.31	5.39	43.13
		平均	0.38	8.47	5.84	45.16
	直交	151B2-1	0.39	2.22	0.57	12.24
		151B2-2	0.38	2.26	0.52	12.44
		152B2-1	0.39	1.81	0.54	9.39
		152B2-2	0.37	1.62	0.50	8.39
		平均	0.38	1.98	0.53	10.62
21mm厚ボード	平行	211B1-1	0.35	10.42	4.77	30.47
		211B1-2	0.34	8.91	4.62	25.98
		212B1-1	0.37	7.58	5.23	22.07
		212B1-2	0.36	5.52	5.15	16.18
		平均	0.36	8.11	4.94	23.68
	直交	211B2-1	0.36	2.14	0.42	6.25
		211B2-2	0.36	2.77	0.45	8.08
		212B2-1	0.36	2.62	0.44	7.66
		212B2-2	0.35	2.71	0.43	7.97
		平均	0.36	2.56	0.44	7.49



*1構造用合板、PBは同一試験方法による引用値

図一9 各種ボード類のMOE(上)とMOR(下)の比較

4. 2 釘接合に対する性能

a) 釘側面抵抗力

釘側面抵抗試験の結果を表-3にまとめて示した。同一処理条件で比べると平行方向より直交方向の方が最大荷重が大きかった。また厚さの違いによる最大荷重の差はあまりなく、単位厚さあたりの抵抗力では、21mm厚のボードより15mm厚ボードの方が大きな値を示した。破壊はいずれの試験体も接着面のせん断破壊で、繊維が荷重に対して平行方向の層には割裂、直交層には釘身のめり込みによるせん断破壊が認められた。促進条件による違いを見ると、飽水、乾湿繰り返し、煮沸の条件では、気乾のものよりいずれも最大荷重が小さい。また、煮沸条件の試験体が乾湿繰り返しの試験体より最大荷重が小さくなる傾向が見られた。21mm厚の試験体では、接着状態が悪いため最大荷重が極端に低くなるものが見られ、15mm厚の試験体よりもバラツキが大きくなった。スギ板積層ボードの釘側面抵抗の残存比を他の木質ボードと比べると、合板やパーティクルボードより概して残存比が小さかった。

表-3 釘側面抵抗試験結果

試験体種類	促進条件	比重	最大荷重 (N)	側面抵抗 (N/mm)	残存比
15mm厚 平行	常態	0.38	1710	114.0	1.00
	飽水	0.38	1153	76.9	0.67
	乾湿	0.39	1233	82.2	0.72
	煮沸	0.37	1200	80.0	0.70
15mm厚 直交	常態	0.40	1871	124.7	1.00
	飽水	0.39	1565	104.3	0.84
	乾湿	0.39	1604	106.9	0.86
	煮沸	0.39	1453	96.9	0.78
21mm厚 平行	常態	0.35	1634	77.8	1.00
	飽水	0.38	1567	74.6	0.96
	乾湿	0.38	1398	66.6	0.86
	煮沸	0.37	1144	54.5	0.70
21mm厚 直交	常態	0.36	1979	94.2	1.00
	飽水	0.36	978	46.6	0.49
	乾湿	0.36	1249	59.5	0.63
	煮沸	0.37	1093	52.0	0.55

*1 数値はいずれも試験体2体の平均値

b) 釘頭貫通力

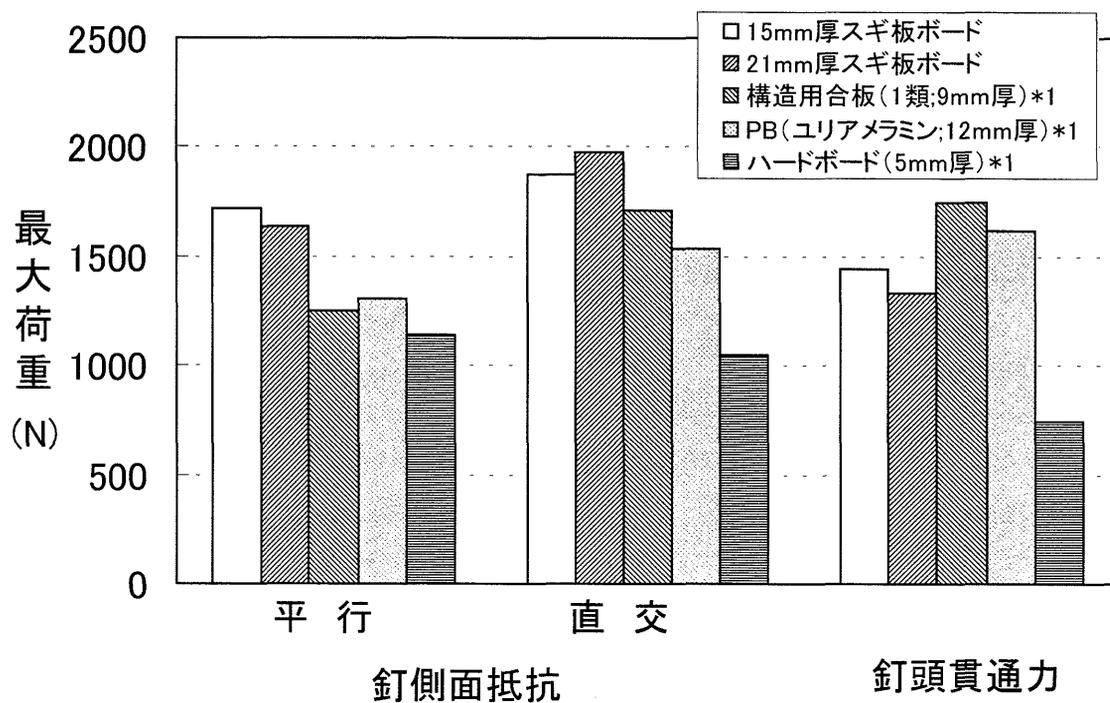
試験の結果を処理条件別に平均値で比較したものを表-4に示した。これを見ると、15mm厚ボードと21mm厚ボードの最大荷重に顕著な差はなく、ボード厚によらずほぼ一定の値を示していることがわかる。また比較のため引用した他の建築用ボード類と比べると、構造用合板、パーティクルボードに比べやや小さい。これは釘頭貫通力が釘頭材料への局部的なめりこみ強さに依存し、ボードの表面硬さの影響が大きいためと考えられる。同様に外周条件による強度低下の割合は、ボード厚によらずほぼ一定で、飽水により表層ラミナ自身が軟質化したことが考えられる。

本ボードの釘頭貫通力を向上させるには、ラミナ厚や積層数よりも表面処理などによる局部めり込み強さの確保が重要である。

表-4 釘頭貫通力試験結果

試験体種類	条件	厚さ (mm)	最大荷重 (N)	残存比
151NP	気乾	16.6	1318	1.00
	飽水	16.5	1050	0.80
152NP	気乾	17.1	1547	1.00
	飽水	17.1	1276	0.82
211NP	気乾	22.7	1345	1.00
	飽水	22.7	1052	0.78
212NP	気乾	22.7	1324	1.00
	飽水	22.7	1120	0.85

*1数値はいずれも試験体2体の平均値



*1同一試験方法による引用値

図-10 各種ボード類の釘接合性能の比較

4.3 耐水性能

曲げ試験による耐水性能の評価結果を表-5に示した。これを見るとスパンを表層の繊維方向に対し平行にとった場合、直交のMOE, MORに比べ、15mm厚, 21mm厚ともに残存比が小さく、平行方向の試験体の方が促進処理による影響が大きい。これは本試験の3層ボードの場合、曲げ

に対する抵抗要素が主にスパンに対し繊維が平行な層であるため、最外層の直交層は処理の有無によらず、ボードの強度にはじめから寄与していないためと考えられる。MOEとMORを比べると、MORの残存比は処理条件に関わらずほぼ一定であるが、MORの残存比には差があり、その差は処理条件の厳しさの順と必ずしも一致しない。これは試験体の破壊形態が、引張り側の曲げ破壊の場合と接着層のせん断破壊の2種類あり、素材の材質と接着の良否が複雑に影響を及ぼしたためと考えられる。各条件での残存比を比較すると、MOEはバラツキの大きかった21mm厚の平行試験体を除いて、ほぼ飽水>乾湿>煮沸であった。

表-5 耐水性（曲げ）試験結果

試験体種類	外周条件	比重	MOE (GPa)	残存比	MOR (MPa)	残存比
15mm厚 平行	常態	0.39	6.09	1.00	49.8	1.00
	飽水	0.42	4.57	0.75	30.1	0.60
	乾湿	0.40	4.25	0.70	34.9	0.70
	煮沸	0.37	4.03	0.66	21.3	0.43
15mm厚 直交	常態	0.38	0.47	1.00	9.4	1.00
	飽水	0.38	0.45	0.95	9.3	1.00
	乾湿	0.38	0.43	0.91	9.3	0.99
	煮沸	0.39	0.44	0.92	7.7	0.82
21mm厚 平行	常態	0.36	5.65	1.00	32.7	1.00
	飽水	0.36	2.13	0.38	12.3	0.38
	乾湿	0.37	2.56	0.45	21.8	0.67
	煮沸	0.37	2.38	0.42	14.6	0.45
21mm厚 直交	常態	0.36	0.43	1.00	7.4	1.00
	飽水	0.35	0.34	0.79	7.5	1.01
	乾湿	0.37	0.31	0.71	5.2	0.70
	煮沸	0.36	0.30	0.69	6.2	0.83

※1 数値は試験体4体の平均値

4.4 動的弾性定数と静的弾性定数の関係

1辺単純支持、3辺自由の境界条件で支持された平板に、本試験のように上辺の自由端を打撃した場合、ボード上辺端部の応答周波数スペクトルには、全ての振動モードが検出される。一方中央部では長辺方向の奇数次の振動モードが検出されないため、周波数応答は端部と中央部の2個所で検出した。得られた2つの波形を比較することによって、同一周波数付近に存在する2つの振動モードの帰属を決定した。読み取った各振動モードの周波数から求めた弾性定数（長辺方向ヤング率 E_x 、短辺方向ヤング率 E_y 、せん断弾性定数 G_{xy} ）を表-6に示す。表には同一試験体の静的面内せん断試験で求めたせん断弾性定数、および3.1の曲げ試験で求めた2方向の弾性定数を合わせて示してある。長辺方向のヤング係数はいずれも動的手法による値が若干大きく、短辺方向については傾向が見られない。概して本手法による弾性係数は、静的試験で求めた弾性係数と良く一致することがわかった。

表-6 振動試験と静的試験による弾性定数の比較

試験体種類	試験方法	長辺方向 (スパン平行) Ex(GPa)	短辺方向 (スパン直交) Ey(GPa)	せん断 弾性係数 Gxy(GPa)
スギ板ボード 15mm厚	振動	7.94	0.56	0.49
	静的	6.09	0.47	0.48
スギ板ボード 21mm厚	振動	7.42	0.35	0.58
	静的	5.65	0.43	2.20
ペイマツ合板 12mm厚,5プライ	振動	9.40	6.06	0.76
	静的	—	—	0.69

5. ま と め

スギ素材を仕上げに利用した木質面材料の開発を目的に、スギ挽き板を直交積層した実大サイズのボードを製造し、種々の材質評価試験を行った結果、次のことが明らかになった。

- (1) スギ板を直交積層したボードは、異方性が大きいものの、*MOE*では15mm厚構造用合板（1級）に匹敵し、せん断弾性係数も大きい。
- (2) 釘頭貫通力はやや小さいが、側面抵抗力は9mm厚構造用合板（1級）と同程度に評価できる。
- (3) スギ板を突き付けで幅接ぎする場合、品質確保のための有効な製造方法を検討する余地がある。

引用文献

- (1) 日本住宅性能表示基準のポイント 建設省住宅局住宅生産課
- (2) 設省建築研究所 小規模住宅の新施工法の開発 (1975)
- (3) 薫 玉庫ほか4名 (1992) 面内および面外の振動試験による木質ボードの材質評価 木材学会誌 **38** 678-686
- (4) 祖父江信夫,加藤彰夫 (1992) 振動現象を利用した実大合板の異方性弾性定数の同時測定 木材学会誌 **38** 895-902
- (5) 釘設計施工マニュアル (1979) 線材製品協会
- (6) 平井卓郎ほか3名 (1999) 構造用木質面材の釘接合せん断耐力 木材学会誌 **45** 120-129
- (7) 関谷 壮ほか (1982) 平板構造強度設計便覧 141-169

Received February 28 , 2002