

道産材を用いた枠組壁工法用製材および面材の強度性能評価

大橋義徳, 古田直之, 戸田正彦*¹, 藤原拓哉*¹, 松本和茂*²

Evaluation of mechanical properties of lumber and plywood for wood frame construction with Hokkaido plantation timber

Yoshinori OHASHI, Naoyuki FURUTA, Masahiko TODA,
Takuya FUJIWARA, Kazushige MATSUMOTO

キーワード：枠組壁工法用製材, 構造用合板, 強度性能

1. はじめに

これまで輸入材を主体に供給されてきた枠組壁工法(2×4工法)においても, 国産材利用の機運が高まっている。全国で最も2×4工法が普及している北海道では, 1990年代後半に全国に先駆けて道産材による2×4用製材の生産がスタートしたが, 輸入材との価格差が大きい時代が続き, 構造材のほとんどを輸入材に依存してきた。道内建築業界においても, 部材供給のリスクを軽減するために地域材による同工法用製材の供給を要望されるようになった。

しかしながら, 2×4用製材の日本農林規格(JAS)については, 2×4工法が昭和40年代に北米から日本へ導入された際に, 北米産製材を主体に作られたものであり, 樹種グループはD Fir-L(ダグラスファー, ウェスタンラーチ等), Hem-Tam(イースタンヘムロック, タマラック等), Hem-Fir(ツガ, グランドファー等), S-P-F(ブラックスプルース, ジャックパイン, アルパインファー等), W Cedar(ウェスタンレッドシーダー等)に分けられていた。JASが2015年に改正されるまで, 日本の樹種も各グループに便宜的に当てはめられ, トドマツは輸入製材の主力であるS-P-Fに含まれていたが, カラマツは基準強度が総じて低いHem-Tamに含まれ, カラマツの強度特性が的確に反映されていなかった。さらにHem-Tamでは, 平均年輪幅が6mm以上のものは甲種3級となる規定があり, 樹心付近の未成熟材部を含む木取りで製材すると, 多くの材が平均年輪幅6mm以上となり, カラマツ

製材の使用部位の制限と基準強度の低減が余儀なくされた。

また, 輸入SPF材と道産製材, 輸入面材と道産面材との材質差を懸念する声も多く, 製材や面材, それらを組み合わせた接合部材の強度性能に関するデータも求められていた。さらに, 面材の種類によっては施工時の雨濡れなどによる水分作用の影響についてもデータが求められ, 製材や面材についての総合的なデータ整備が必要であった。

そこで, 本研究では, 道産2×4用製材および構造用面材の材料強度試験を行うとともに, 道産製材と道産面材を組み合わせた釘接合部の強度試験を行い, 枠組壁工法建築物で道産製材や道産合板を適切に利用するための強度データを収集することとした。

2. 実験方法

2.1 製材の強度試験

2×4用製材については, 道内製材工場製材, 人工乾燥, 加工されたカラマツ製材(寸法型式204: 厚さ38×幅89mm)を用いた。試験体数は曲げ試験体は475体, 引張試験体は482体, 圧縮試験体は495体とした。

曲げ試験については, 強軸方向に破壊するように材幅が鉛直方向となるように加力した。加力は油圧式強度試験機(東京衡機製造所, 曲げ容量200kN)を用いて行い, ロードセル(容量200kN)で荷重を計測した。荷重方式は3等分点4点荷重とした。試験スパンは材幅(89mm)の21倍(1869 mm)とした。

荷重点および支点の支持長さはいずれも200mmとした。

引張試験については、実大引張試験機（岩崎、最大容量1000kN、油圧式チャック）を用いて行い、荷重計測には容量500kNのロードセルを使用した。片側把持部の長さは800mmとし、チャック間距離は材幅（89mm）の9倍（801mm）とした。破壊した試験体のうち、チャック内で破断した試験体はデータから除外した。

圧縮試験については、油圧式強度試験機（東京衡機製造所、圧縮容量1000kN）を用いて行い、ロードセル（容量1000kN）で荷重を計測した。試験体長さは材幅（89mm）の3倍（267mm）とした。加圧部分の鋼板はピン支承とし、強軸方向に破壊するように鋼板の回転方向が試験体の材幅と平行になるように加力した。

いずれの試験においても、加力開始から最大荷重に達するまでの時間はすべての試験体で1分以上であった。また、強度試験後に未破壊部分から試験片を採取して全乾法により含水率を測定した。平均含水率は曲げ試験体で12.5%、引張試験体で12.3%、圧縮試験体で12.1%であった。

2.2 面材の強度試験

面材のうち合板については、道内合板工場で生産されたカラマツ合板およびトドマツ合板（3プライで厚さ9mmおよび4プライで12mm、JAS特類2級）を用いた。比較用のOSBはカナダ産の製品（厚さ9mmおよび12mm、JAS3級）を用いた。すべての面材について、910×1820mmの寸法の原板を10枚ずつ用意した。これらの原板1枚から曲げ試験体を強軸方向（表層単板の繊維方向と試験体の長さ方向が平行となる方向）に各5体ずつ採取した。試験体の寸法は、幅50×長さ290mm（厚さ9mm）、あるいは幅50×320mm（厚さ12mm）とした。

面材の曲げ試験は、枠組壁工法建築物構造計算指針¹⁾（以下、枠組指針）に従い、スパンは面材厚さの10倍に150mmを加えた長さとし、荷重点間距離150mmの4点荷重方式とした。加力速度は2mm/minとした。曲げ試験は、一般的な温湿度環境で調湿した試験体（常態）のほかに、高湿度環境を想定した吸湿処理、施工時の雨濡れを想定した吸水処理を行った試験体を対象とした。なお、劣化処理後の曲げヤング係数と曲げ強さの算出には、常態時の断面

寸法を用いた。それぞれの処理は枠組指針²⁾に従い、以下のとおり行った。

◇高湿度処理：試験体を20℃相対湿度85%の恒温恒湿器内で重量が恒量に達するまで養生した後、20℃相対湿度65%の恒温恒湿室内で重量が恒量に達するまで養生する。

◇事故的水掛かり処理：試験体を常温の水中に72時間浸せきした後、20℃相対湿度65%の恒温恒湿室内で重量が恒量に達するまで養生する。

2.3 釘接合部の強度試験

釘接合部の強度試験として、実際の枠組壁工法建築物の構造体で重要となる、製材相互の釘接合および製材と面材の釘接合の二通りの試験を行った。試験体の仕様および試験方法は枠組指針³⁾に準じた。試験に用いた製材は、カラマツ、トドマツ、スギ、輸入SPFの204材（38×89mm）、面材はカラマツ合板、トドマツ合板の厚さ9mmおよび厚さ12mmとした。それぞれの試験状況を第1図に示す。製材相互の釘接合試験においては、204材3本をI形形状に組んだ上で枠組壁工法用釘（CN釘）4本で留め付けたモデル試験体を作製した。CN釘はCN75（釘長さ75mm）またはCN90（釘長さ90mm）の2種類を用いた。製材と面材の釘接合試験においては、204材1本に面材2枚を釘4本で留め付けたモデル試験体を作製した。なお、釘を打ち込む際には釘頭がめり込まないように注意した。加力は単調加力とし、圧縮型とした。試験体中央の主材の204材の上部から鉛直方向に加力し、釘接合部に一面せん断力を加えた。



第1図 釘接合部の強度試験
（左図：製材と製材、右図：製材と面材）

主材の幅面の両面に変位計を2個取り付けて、側材との変位差を計測し、平均値を変位量とした。試験体数は各6体とした。

3. 結果と考察

3.1 製材の強度試験

カラマツ204材の強度試験結果を第1表に示す。なお、実験値はASTM D1990-07に従って含水率15%に補正した。統計的下限値は木材の強度評価で多用される対数正規分布仮定による5%下限値を用いた。まず、強度の平均値を見ると、曲げ、引張、圧縮のいずれにおいても甲種等級が特級から3級へ下がるにつれて強度が低くなり、目視等級による選別の有効性が示された。変動係数を見ると、曲げ、引張は30%前後で強度のばらつきが大きいものに対して、圧縮は20%未満と小さく、圧縮強度に及ぼす節の影響が小さいこと、圧縮試験体長さが曲げや引張よりも短く、欠点が含まれる確率が小さくなるためと考えられた。次に、統計的下限値を見ると、平均値と同様に甲種等級が下がるにつれて低くなっており、ばらつきの大きな曲げや引張では圧縮よりも平均値に対して低い値となった。また、JASの樹種群に与えられる基準強度と比較すると、2015年以前のJASに

おいてカラマツが属していた樹種群「Hem-Tam」に対しては、特級の曲げ強さを除き、カラマツの下限値が上回った。また、枠組壁工法用製材の主流である樹種群「SPF」に対しては、カラマツ204の曲げ強さは総じて下回るものの、その他はカラマツの下限値が上回った。基準強度は母集団から採取された適切なサンプリングと数多くの実験データから導出されるものであり、本実験データの試験体数やサンプリングは限定的であるが、カラマツはHem-Tamとは異なる樹種群に設定することが妥当と考えられた。

次に、カラマツの年輪幅規定による影響を検討するため、甲種3級のなかで平均年輪幅が6mm以上の試験体を抜粋して「年輪3級」とし、さらに、甲種2級に年輪3級を加えて「2級+」として第1表に併記した。その結果、2級+の下限値は、2級に対して、引張強さではやや低い値となったものの、曲げや圧縮では若干の低下にとどまった。建築基準法では甲種3級の使用部位が制限されるため、枠組壁工法用製材としては甲種2級以上に区分されることに実用的な意義があるため、SPFやHem-Firのように年輪幅規定が除外されることが望ましいと考えられた。

第1表 カラマツ204材の強度試験結果と基準強度

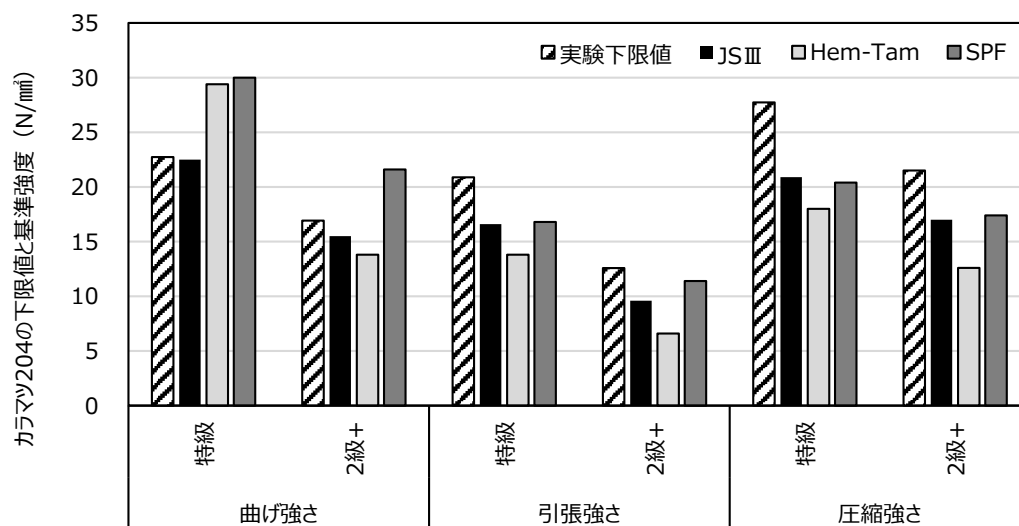
強度	甲種等級	実験データ						基準強度		
		試験体数	最大値	平均値	最小値	変動係数	下限値	Hem-Tam	SPF	JSIII
曲げ 強さ (N/mm ²)	特級	104	77.4	41.6	18.8	30.9%	22.7	29.4	30.0	22.5
	1級	100	71.2	38.6	19.9	29.1%	22.8	18.0	22.2	16.1
	2級	113	69.3	34.9	15.1	35.9%	17.7	13.8	21.6	15.5
	3級	145	63.6	30.0	7.7	32.9%	16.4	8.4	12.6	9.0
	年輪3級	110	63.6	30.0	9.4	32.4%	16.2			
	2級+	223	69.3	32.5	9.4	35.3%	16.9			
引張 強さ (N/mm ²)	特級	101	64.3	35.3	16.2	27.8%	20.9	13.8	16.8	16.6
	1級	103	55.4	29.3	12.7	31.2%	16.2	8.4	12.0	11.1
	2級	108	46.1	26.6	11.0	28.1%	15.6	6.6	11.4	9.6
	3級	149	46.1	21.1	5.3	35.9%	10.1	3.6	6.6	5.6
	年輪3級	98	46.1	21.5	5.3	34.7%	10.6			
	2級+	206	46.1	24.1	5.3	32.6%	12.6			
圧縮 強さ (N/mm ²)	特級	106	49.6	36.3	24.4	14.5%	27.7	18.0	20.4	20.9
	1級	106	47.8	32.7	20.0	16.9%	23.9	15.0	18.0	18.3
	2級	107	48.5	31.2	19.8	18.7%	22.4	12.6	17.4	17.0
	3級	156	49.5	28.2	17.3	15.5%	21.4	7.2	10.2	9.8
	年輪3級	106	39.5	27.9	17.3	15.1%	21.1			
	2級+	213	48.5	29.6	17.3	18.1%	21.5			

※年輪3級：年輪幅で3級と判定されるものの他の欠点は2級に相当する材

※2級+：甲種2級に年輪3級を加えた等級

※下限値：対数正規分布仮定による5%下限値

※基準強度：JSIIIはカラマツが属する現行JASの樹種群（2015年のJAS改正で新設）



第2図 カラマツ204の下限値と基準強度

本データをもとに2015年にJASが改正され、カラマツは新設された樹種群「JSIII」に属することとなり、年輪幅規定も撤廃された。JSIIIの基準強度を第1表に併記するとともに、実験下限値や他樹種の基準強度とともに第2図に示す。基準強度の設定においては、1級と3級は特級と2級をもとに計算で算出することになっており、第2図では特級と平均年輪幅が6mm以上の材を含む2級+を示している。実験下限値に対してJSIIIの基準強度は欠点を考慮して低く設定されており、枠組壁工法で多用されるSPFの基準強度に対して、曲げや引張の一部では低く設定されているが、圧縮では同程度に設定されている。道産製材で供給しやすい204材や206材の利用部位としては圧縮強度が重要な壁組部材が想定されることから、これまで利用されてきた北米産製材と同等に施工可能であると考えられる。

3.2 面材の強度試験

曲げ試験体の含水率を第2表に示す。高湿度処理では、常態と比較して針葉樹合板は約5%、OSBは約7%程度含水率が増加した。事故的水掛かり処理では、処理後に20°C相対湿度65%で調湿したものの、ヒステリシスの影響により常態よりも3~4%程度含水率が高くなった。

次に、曲げ強度試験の結果を第3表に示す。常態時の曲げ性能について、いずれの厚さにおいてもカラマツ合板はOSBよりも曲げヤング係数、曲げ強さが高かった。トドマツ合板は9mm厚さではOSBとほ

ぼ同等であり、12mm厚さではOSBよりも高い値を示した。

次に、使用環境を想定した劣化処理による強度試験結果を第4表に示す。ヤング係数の残存率（常態の平均値に対する劣化処理の平均値の比）は、高湿度処理と事故的水掛かり処理で大きな差は見られず、面材の種類による違いについても明確ではなかった。曲げ強さの残存率は、いずれの処理方法においても、針葉樹合板が約0.8~0.9、OSBが約0.7~0.8となり、水分作用による強度変化は針葉樹合板よりOSBのほうが大きい結果となった。なお、処理による面材の厚さ膨張率は、針葉樹合板が2%未満であったが、OSBは高湿度処理で約7%、事故的水掛かり処理で約14%であった。以上の結果から、道産合板はOSBと同等以上の曲げ性能であり、吸湿や吸水に対しても寸法変化や強度低下の面で優位となることが明らかとなった。

第2表 面材の曲げ試験体の含水率（平均値）

厚さ	面材	常態 (%)	高湿度 (%)	水掛かり (%)
	樹種			
9mm	カラマツ合板	9.7	14.9	13.1
	トドマツ合板	9.8	15.3	12.9
	OSB	8.6	15.6	12.9
12mm	カラマツ合板	10.5	15.2	14.1
	トドマツ合板	10.7	15.6	13.4
	OSB	8.8	15.4	12.8

第3表 常態時の面材の強度試験結果

面材		密度 (g/cm ³)		曲げヤング係数 (kN/mm ²)		曲げ強さ (N/mm ²)	
厚さ	種類	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
9mm	カラマツ合板	0.56	0.04	10.0	2.1	55.6	13.0
	トドマツ合板	0.41	0.02	7.7	1.2	39.9	10.9
	OSB	0.66	0.03	7.7	0.8	37.5	8.1
12mm	カラマツ合板	0.59	0.02	8.4	1.1	39.4	11.4
	トドマツ合板	0.44	0.01	7.7	0.6	41.2	7.6
	OSB	0.65	0.02	6.7	0.6	30.7	3.5

第4表 使用環境を想定した劣化処理による面材の強度試験結果

面材		曲げヤング係数(kN/mm ²)						曲げ強さ(N/mm ²)					
		高湿度			水掛かり			高湿度			水掛かり		
厚さ	種類	平均値	標準偏差	残存率	平均値	標準偏差	残存率	平均値	標準偏差	残存率	平均値	標準偏差	残存率
9mm	カラマツ合板	9.0	1.8	0.89	8.7	2.3	0.86	51.4	17.8	0.93	48.6	12.6	0.88
	トドマツ合板	7.1	1.3	0.92	6.7	0.9	0.87	38.3	7.8	0.96	36.5	9.8	0.91
	OSB	6.5	1.1	0.85	6.4	0.9	0.84	27.1	7.1	0.72	28.4	4.1	0.76
12mm	カラマツ合板	7.4	1.0	0.88	7.5	1.0	0.89	36.0	8.9	0.91	38.0	7.1	0.97
	トドマツ合板	6.6	0.7	0.85	6.9	0.6	0.89	33.9	4.4	0.82	35.9	5.3	0.87
	OSB	6.2	0.7	0.92	6.3	0.6	0.93	25.3	2.9	0.82	25.4	3.0	0.83

※残存率=劣化処理の平均値/常態の平均値 (第3表)

3.3 釘接合部の強度試験

製材相互の釘接合部試験の結果を第5表に示す。釘1本あたりの降伏耐力の平均値を比較すると、CN75およびCN90ともにトドマツとSPFが同等であり、カラマツはそれらよりも高かった。以上より、道産製材相互を釘で留め付けたときの強度性能は輸入SPFと同等以上であることが確かめられた。

次に、製材と面材の釘接合部試験の結果を第6表に示す。破壊形態については、面材がトドマツ9mm合板の場合、いずれの製材でもパンチングアウトが多く見られた。また、カラマツ合板9mmでも、カラマツ製材の場合には面材のパンチングアウトが見られた。その他の条件では、破壊形態は釘の引抜けであった。釘1本あたりの降伏耐力の平均値を比較すると、いずれの仕様においても、カラマツ製材はトドマツ製材より高かった。

SPF製材と比べると、カラマツ製材のみならずトドマツ製材も同等以上となり、道産製材と面材を釘で留め付けたときの強度性能が優位となる可能性が示された。

第5表 製材相互の釘接合部の強度試験結果 (試験体数=各6体)

釘	製材	釘1本あたりの降伏耐力 (kN)	
		平均値	標準偏差
CN75	カラマツ	1.21	0.14
	トドマツ	0.99	0.09
	SPF	1.00	0.05
CN90	カラマツ	1.46	0.17
	トドマツ	1.27	0.06
	SPF	1.20	0.08

第6表 面材と製材の釘接合部の強度試験結果（試験体数＝各6体）

釘	面材		製材	釘1本あたりの降伏耐力 (kN)	
	厚さ	樹種		平均値	標準偏差
CN50	9mm	カラマツ合板	カラマツ	0.84	0.12
			トドマツ	0.60	0.05
			SPF	0.62	0.16
		トドマツ合板	カラマツ	0.72	0.13
			トドマツ	0.56	0.10
			SPF	0.53	0.08
	12mm	カラマツ合板	カラマツ	0.88	0.09
			トドマツ	0.64	0.07
			SPF	0.62	0.08
		トドマツ合板	カラマツ	0.75	0.10
			トドマツ	0.59	0.06
			SPF	0.55	0.18
CN65	15mm	カラマツ合板	カラマツ	1.45	0.17
			トドマツ	0.95	0.09
			SPF	0.87	0.06
		トドマツ合板	カラマツ	1.05	0.20
			トドマツ	0.88	0.10
			SPF	0.73	0.15

4. まとめ

道産樹種を用いた2×4用製材および構造用面材の材料強度試験、釘接合部の強度試験を行い、以下の知見を得た。

カラマツ204材の各種強度試験を行った結果、曲げ、引張、圧縮のいずれにおいても甲種等級が特級から3級へ下がるにつれて強度が低くなり、目視等級による選別の有効性が示された。統計的下限值については、2015年以前のJASにおいてカラマツが属していた樹種群「Hem-Tam」に対して、特級の曲げ強さを除き、カラマツが上回り、Hem-Tamとは異なる樹種群に設定すべきであると考えられた。また、甲種3級のなかで平均年輪幅が6mm以上の試験体を甲種2級に加えて検討した結果、その下限値は、単独の甲種2級に対して、引張強さではやや低い値となったものの、曲げや圧縮では若干の低下にとどまった。建築基準法では甲種3級の使用部位が制限されるため、枠組壁工法用製材としては甲種2級以上に区分されることに実用的な意義があり、曲げ・圧縮部材として利用する上では、年輪幅規定を除外しても実用上の支障が少ないと考えられた。

カラマツ・トドマツ合板の曲げ強度試験を行った結果、常態時の曲げ性能においては、輸入OSBに対してトドマツ合板は同等以上、カラマツ合板は高い値を示した。また、使用環境を想定した吸水・吸湿処理後の面材強度試験を行ったところ、道産合板は

輸入OSBより吸湿や吸水に対しても寸法変化や強度低下の面で優位となることが明らかとなった。

製材相互の釘接合部の強度試験を行った結果、カラマツ、トドマツともに輸入SPFと同等以上の釘接合性能であることが確かめられた。また、製材と面材による釘接合部の強度試験を行った結果、いずれの仕様においても、SPF製材と比べて、カラマツ製材のみならずトドマツ製材も同等以上となり、道産製材と面材を釘で留め付けたときの強度性能が優位となる可能性が示された。

以上より、枠組壁工法建築物で道産製材や道産合板を適切に利用するための強度データに関する知見が得られた。

引用文献

- 1) 日本ツーバイフォー建築協会：枠組壁工法建築物構造計算指針，丸善，東京，266-269(2018).
- 2) 日本ツーバイフォー建築協会：枠組壁工法建築物構造計算指針，丸善，東京，271-279(2018).
- 3) 日本ツーバイフォー建築協会：枠組壁工法建築物構造計算指針，丸善，東京，279-281(2018).

—技術部 生産技術グループ—
—*1：性能部 構造・環境グループ—
—*2：性能部長—
(原稿受理：2023.12.14)