

県産材を使用した枠組壁工法部材の性能評価（Ⅱ）

Performance evaluation of dimension lumber using Gunma prefecture-derived timber (II)

小林慧・工藤康夫・町田初男*

I はじめに

枠組壁工法（ツーバイフォー工法）とは、北米で主流の在来工法で、1974年に建設省告示第1019号で認められ、我が国の一般的な構法の一つとなった。「木材で組まれた枠組に構造用合板その他これに類するものを打ちつけた床及び壁により建築物を建築する構法」と定義され、「枠組壁工法構造用製材及び枠組壁工法構造用たて継ぎ材の日本農林規格（農林水産省、2015）」（以下枠組 JAS）に規定された構造用製材（ディメンション・ランバー）が用いられている（秋田県立大学木材高度加工研究所、2011）。

ツーバイフォー工法では、その構造材（ツーバイフォー材）として、これまで北米から輸入された木材（S-P-F材）が主に用いられていた。近年では、平成27年に枠組 JAS が改正され国産3樹種において年輪幅の規定が適用外となったこと、また旧来とは異なった基準強度が設定されたこと（国土交通省、2015）から、国産材利用に関する取り組みが積極的に進められている（林野庁、2020）。また、S-P-F材の価格は北米の住宅市場の影響を大きく受けるため、高騰下落を繰り返し、国産材と比較しても価格競争力は急速に低下してきた（日本経済新聞、2020）。

これまで群馬県では、町田ら（2018）により、スギ、ヒノキ及びカラマツの3樹種について枠組 JAS に対する適合性を評価した。中でもスギ材では、大径材及び中目材から製材した県産スギ204材（厚38mm×幅89mm）において、試験に供した483試験体のうち、約86%（413体）が甲種構造材2級以上に格付けされ、加えてその静的曲げヤング係数や曲げ強度の分布についても示された一方で、スギ206材や208材については未評価であった。近年、ツーバイフォー材は、枠組壁工法住宅の部材以外にNLT（Nail laminated timber）やDLT（Dowel laminated timber）といった構造用面材のエレメント用材としての活用も始まり、幅の広い206材や208材、210材の強度性能の把握が求められている。

そこで、本研究では前報（町田ら、2018）で未評価であった県産スギ206材、208材及び210材の強度性能を評価し、今後の設計指針として供するものとした。また、国産ツーバイフォー材の生産が進む中、S-P-F材から国産材へと構造用部材を転換する際に、枠組み壁工法用パネル作成業者より、“スギ材はS-P-F材に比べて釘が抜けやすいのではないか”“パネルをクレーンで吊り下げた際、上枠が外れるのではないか”といった指摘がある。ツーバイフォー工法では、木造軸組み構造と異なる点として、構造材を緊結する際の木材木口面への釘打ちがあげられる（例えば、たて枠と上枠）。緊結方法は、釘の種及び本数、許容せん断耐力について規定はあるが、（国土交通省告示第1540号）、釘引抜き耐力については、規定されておらずこれらの指摘を解決するため、206材及びS-P-F206材を対象に、木口における釘引抜き抵抗値について測定した。

II 試料・方法

試験体の詳細をスギは表-1に、S-P-F材は表-2に示す。試験体は、厚さ38mmの枠組壁工法構造用製材を用いた。JS204は、町田ら（町田ら、2018）の報告した甲種枠組み材2級以上の試験体413体のうち、検証が可能であった407体の測定値を解析に供した。JS206材の34体は、末口径24.9~27.3cmの県産スギ中目丸太10体より“だら挽き”製材し、当試験場にて枠組 JAS に準拠して甲種構造材の等級付けを行った

ものである。その他スギ 789 体（J204：80 体、J206：526 体、J208：30 体、J210：153 体）は、構造材として利用可能な甲種枠組材 2 級のもの及びその相当材を県内枠組 JAS 認証工場から購入したもの及び受託研究として試験を行ったものである。S-P-F 材のうち S206 は、県内木材問屋より購入し、S208 及び S 210 は、及び共同研究として試料提供を受けたものである。なお、S 208 及び S 210 は、梱包用のバンドルを開封後、反り曲がり、傷等の大きな欠点を確認されたものは除外されている。

各試験体は、表－1 に示した項目で試験を実施した。曲げ試験はすべての試験体で実施した。万能強度試験機（インストロン社製、5582EX/H）を用い、3 等分点 4 点曲げ試験により行い、JS204、JS206 及び S206 については、破壊まで加力を続け、曲げ強度を測定した。

試験体は、試験終了後に非破壊部分を切り出し、全乾法による含水率を求めた。J204、J206、J208、J210、S208 及び S210 では、木材の基準強度（国土交通省、2015）に基づき、試験体寸法に合わせて破壊想定荷重を推定し、その荷重の 10%（下限荷重）及び 40%（上限荷重）加力時のたわみを測定し静的曲げヤング係数の算定に供した（表－3）。たわみは、試験体のスパン中央に L 型金物を取り付け変位計で測定した。

なお、JS206、J208、J210、S206、S208、S210 より算定した静的曲げヤング係数は、試験時のスパンがそれぞれ異なるため枠組 JAS に準じて、曲げヤング係数の調整係数（表－3）を乗じて得た数値をその曲げヤング係数とした。なお、曲げ強度及び静的曲げヤング係数ともに、含水率による数値の補正は行っていない。

釘引抜き試験は、JS206 及び S206 の試験体より、長さ 300mm×2 体を鋸断し釘 CN90（ l : 88.9mm）を用い、常圧コイルネイラ（MAX 製、CN-890K）で木口打ち（2 本打ち）とした。万能強度試験機（INSTORON 製、5582EX/H）を使用し、引張速度 1mm/min で行った。最大荷重を打ち込んだ釘の本数で除し、釘の引抜き抵抗値とした。

表－1 スギ試験体の詳細

樹種群・樹種	JS II ・スギ					
	204		206		28	210
規格寸法	204		206		28	210
試験体名	JS204*	J204	JS206*	J206		J210
計測本数	407**	80	34	526	30	153
試験体寸法	厚 38 × 幅 89 × 厚 38 × 幅 89 × 厚 38 × 幅 140 × 厚 38 × 幅 140 × 厚 38 × 幅 184 × 4,000mm	厚 38 × 幅 89 × 厚 38 × 幅 89 × 厚 38 × 幅 140 × 厚 38 × 幅 140 × 厚 38 × 幅 184 × 4,000mm	厚 38 × 幅 89 × 厚 38 × 幅 89 × 厚 38 × 幅 140 × 厚 38 × 幅 140 × 厚 38 × 幅 184 × 4,000mm	厚 38 × 幅 89 × 厚 38 × 幅 89 × 厚 38 × 幅 140 × 厚 38 × 幅 140 × 厚 38 × 幅 184 × 4,000mm	厚 38 × 幅 184 × 厚 38 × 幅 184 × 厚 38 × 幅 184 × 4,000mm	厚 38 × 幅 235 × 厚 38 × 幅 235 × 厚 38 × 幅 235 × 4,000mm
規格及び品質	規格：枠組 JAS に準じて検査済み 品質：甲種枠組 2 級の乾燥材	規格：枠組 JAS 品質：甲種枠組 2 級の乾燥材	規格：枠組 JAS に準じて検査済み 品質：甲種枠組 2 級の乾燥材	規格：枠組 JAS 品質：甲種枠組 2 級の乾燥材	同左相当材	同左相当材
試験項目						
・静的曲げ弾性係数	○	○	○	○	○	○
・曲げ強度	○	○	○	○ (50体/526体)	-	-
・含水率	○ (全乾法)	-	○ (全乾法)	-	-	-
・釘引抜き強度	-	-	○	-	-	-

*：試験場にて製材し、枠組み JAS に準じて格付け

**：前報（町田、2018）にて報告したデータを一部改変

表－2 S-P-F 試験体の詳細

樹種群・樹種	S-P-F		
規格寸法	206	208	210
試験体名	S206	S208	S210
計測本数	50	20	22
試験体寸法	厚 38 × 幅 140 × 厚38×幅184× 4,000mm	厚38×幅184× 4,888mm	厚38×幅235× 3,678mm
規格及び品質	規格：No.2 品質：Jグレード ※ 枠組JAS甲種枠 組2級相当材	同左	同左
試験項目			
・静的曲げ弾性係数	○	○	○
・曲げ強度	○	-	-
・含水率	○ (全乾法)	○ (高周波式)	○ (高周波式)
・釘引抜き強度	○	-	-

表－3 曲げ試験の条件

試験体名	基準強度 N/mm ²	寸法調整 係数	基準強度 N/mm ²	想定荷重 N	スパン (下部) mm	スパン (上部) mm	下限荷重 N	上限荷重 N	曲げ弾性係数の 調整係数
JS204	19.5	1	19.5	-	1,870	620	-	-	1
J204	19.5	1	19.5	3,130	1,870	620	313	1,255	1
JS206	19.5	0.84	16.4	-	2,100	700	-	-	1.032
J206	19.5	0.84	16.4	4,217	2,940	980	422	1,687	1
J208	19.5	0.75	14.6	5,688	3,312	1,104	569	2,275	1.012
J210	19.5	0.68	13.3	7,845	3,525	1,175	785	3,138	1.032
S206	21.6	0.84	18.1	-	2,100	700	-	-	1.032
S208	21.6	0.75	16.2	6,300	3,312	1,104	630	2,520	1.012
S210	21.6	0.68	14.7	8,750	3,525	1,175	875	3,500	1.032

Ⅲ 結果

1 県産スギツーバイフォー材の曲げ強度及び静的曲げヤング係数

表－4 にツーバイフォー材の規格別試験体の性能評価試験の結果を示す。含水率を測定した試験体では、甲種枠組材の規格である含水率 19% に対してすべての試験体が規格を満たしていた。

曲げ強度を測定したスギ材の JS204 材及び JS206 材では、基準強度（スギ 204：19.5N/mm²、スギ 206：16.4N/mm²）を下回るものはみられず、基準強度を最小値と比較すると、JS204 で 5.8% 高く、JS206 は 36.8% も高い値を示した。一方で S-P-F 材の S206 材では、基準強度（S-P-F206：18.1N/mm²）に満たない試験体が 1 体存在した。スギの静的曲げヤング係数は、平均値は、6.92～8.69 kN/mm² であり、「枠組壁工法建築物構造計算指針」で示される S-P-F 甲種 2 級の基準弾性係数は 9.6 kN/mm² に比べ、約 10～28% 低い値を示したが、スギの甲種枠組材 2 級の基準弾性係数 6.9kN/mm² と比べると、県産スギツーバイフォー材は同等以上の数値を示した。

静的曲げヤング係数の分布をスギは図－1 に、S-P-F 材は図－2 に示す。スギ材の静的曲げヤング係数は、スギ 204 材で他の寸法に比べ優位に高く ($p < 0.001$)、材の幅が広くなるにつれ小さくなる傾向がみられた。スギ 208 材とスギ 210 材間に有意差は認められなかった。一方で S-P-F 材では、スギ材とは異なる傾向がみ

られ、S206 の静的曲げヤング係数は他の寸法に比べて優位に低く ($p < 0.001$)、S208 材と S210 材間に有意差は認められなかった。

スギ材の材質特性として髓付近のヤング係数が外側のヤング係数に比べて低いこと (中村ら 1991) が知られている。204 材や 206 材のように、比較的小さい寸法では、素材丸太のいずれの個所からも製材できるが、208 材や 210 材のように断面寸法が大きくなると、素材丸太の中央部より製材されることが多い。スギ 208 材及び 210 材は、製材時の木取りによって髓付近の領域を多く含んでいたため、未成熟材の占める領域が増加し、静的曲げヤング係数が低い値を示したと考えられる。しかしながら、S-P-F 材では、寸法の小さい S206 で静的曲げヤング係数が低く、スギとは異なる傾向がみられた。S208 では、試験前に目視で試験体を選別したものの、スギ材に比べて、静的曲げヤング係数の分布のばらつきが大きかったが、傾向を明らかにするには、試験体数を増加させる必要がある。

以上のことから、県産スギツーバイフォー材は、曲げ強度は基準強度を十分満たしており、静的曲げヤング係数は寸法が大きくなると、低下する傾向がみられた。しかしながら、静的曲げヤング係数の平均値は、いずれの寸法でも基準弾性係数を上回っており、県産スギツーバイフォー材は、枠組材として十分使用可能であると考えられた。

表-4 試験体の性能評価試験

樹種群 樹種	規格	項目	含水率(全乾法)	試験体数	曲げ強度	試験体数	静的曲げ弾性係数	試験体数
			%		N/mm ²		kN/mm ²	
JS II スギ	204	平均値	9.94	407	51.47	407	8.69	487
		MAX	15.26		90.47		14.87	
		MIN	6.99		20.63		4.14	
		標準偏差	1.07		13.82		1.94	
		変動係数	9.31		3.73		4.47	
	206	平均値	12.23	84	38.32	84	7.98	560
		MAX	17.09		65.95		13.34	
		MIN	8.78		22.44		4.38	
		標準偏差	2.04		8.84		1.36	
		変動係数	5.99		4.33		5.87	
	208	平均値		-		-	7.23	30
		MAX			10.23			
		MIN			4.98			
		標準偏差			1.40			
		変動係数			5.17			
210	平均値		-		-	6.92	153	
	MAX			10.92				
	MIN			4.36				
	標準偏差			1.12				
	変動係数			6.17				
S-P-F	206	平均値	12.36	50	32.97	50	8.35	50
		MAX	14.96		55.02		13.28	
		MIN	9.86		17.13		4.05	
		標準偏差	1.11		8.70		1.47	
		変動係数	11.11		3.79		5.67	
	208	平均値		-		-	9.67	20
		MAX			12.90			
		MIN			6.84			
		標準偏差			1.34			
		変動係数			7.20			
	210	平均値		-		-	9.66	22
		MAX			13.44			
		MIN			6.72			
		標準偏差			1.65			
		変動係数			5.84			

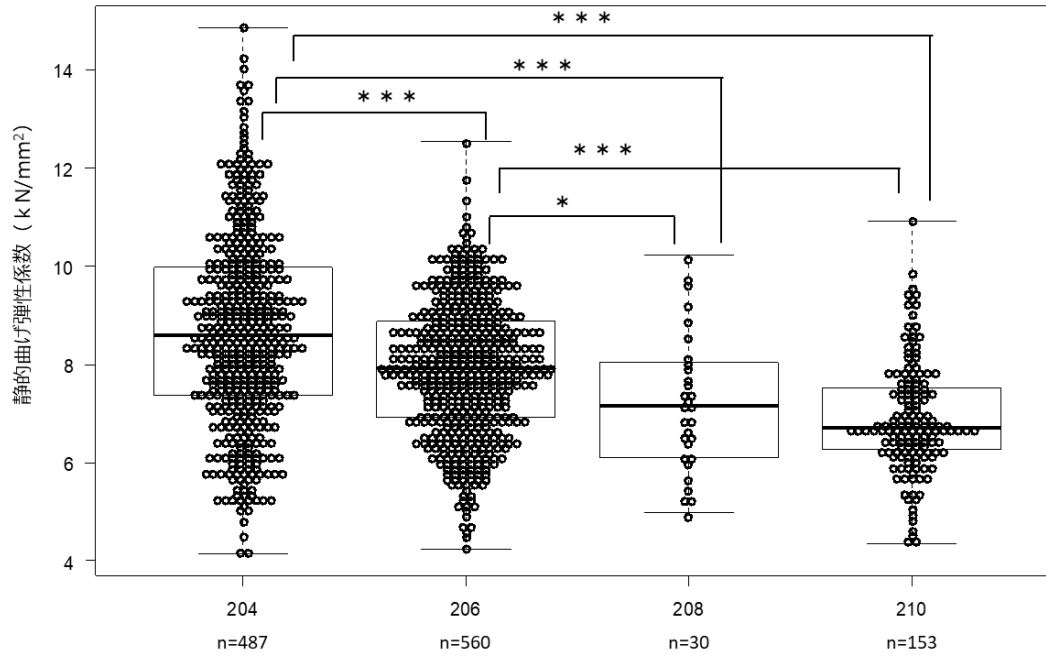


図-1 スギツババイフォー材の静的曲げヤング係数の分布状況

n : 試験体数

エラーバー : 最大値及び最小値

*, **, *** : それぞれ 5, 1, 0.1%水準で有意 (Steel-Dwass 法)

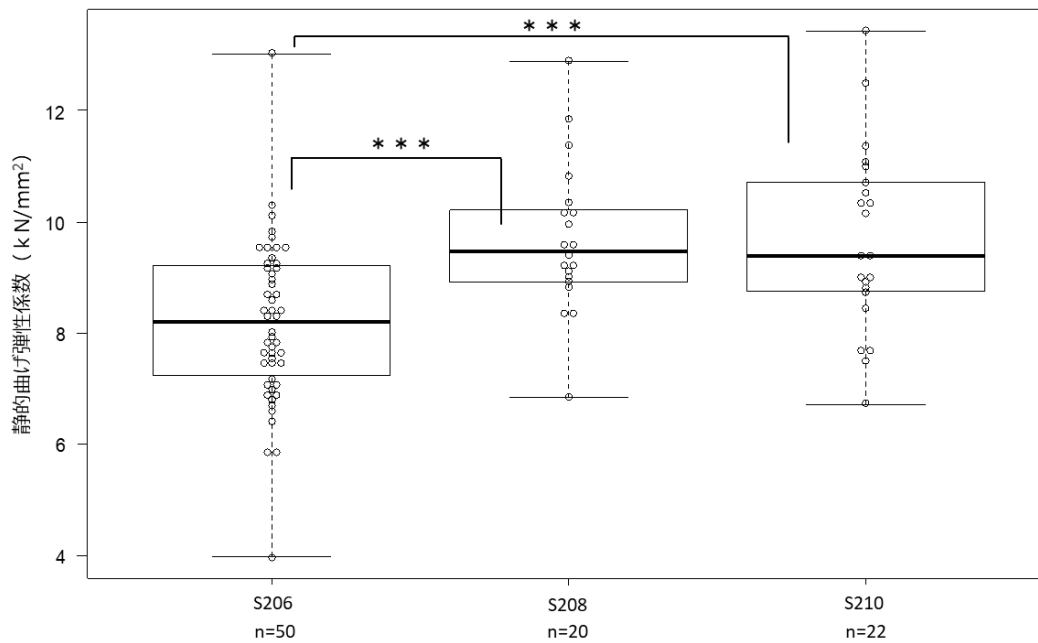


図-2 S-P-F 材の静的曲げヤング係数の分布状況

n : 試験体数

エラーバー : 最大値及び最小値

*, **, *** : それぞれ 5, 1, 0.1%水準で有意 (Steel-Dwass 法)

2 県産スギツーバイフォー材の釘引き抜き抵抗値

図-4にJS206及びS206の釘引き抜き抵抗値を示す。釘打ち時に木口割れが発生した試験体や、試験時の固定が不十分であったものは評価の対象から除外した。釘引き抜き抵抗値の最小値は、JS206で228.45N、S206で212.46N、平均値は、JS206で629.65N、S206で609.40Nであった。平均値を比較すると、スギがS-P-Fに比べてやや高い値を示したが、統計的有意差は認められなかった(t -test: $p=0.694$)。このことから、木口打ちをした釘の保持力はスギ材とS-P-F材で顕著な差はなく、県産スギツーバイフォー材は、たて枠及びスタッドとして使用しても、上枠が外れる可能性は低いと考えられた。

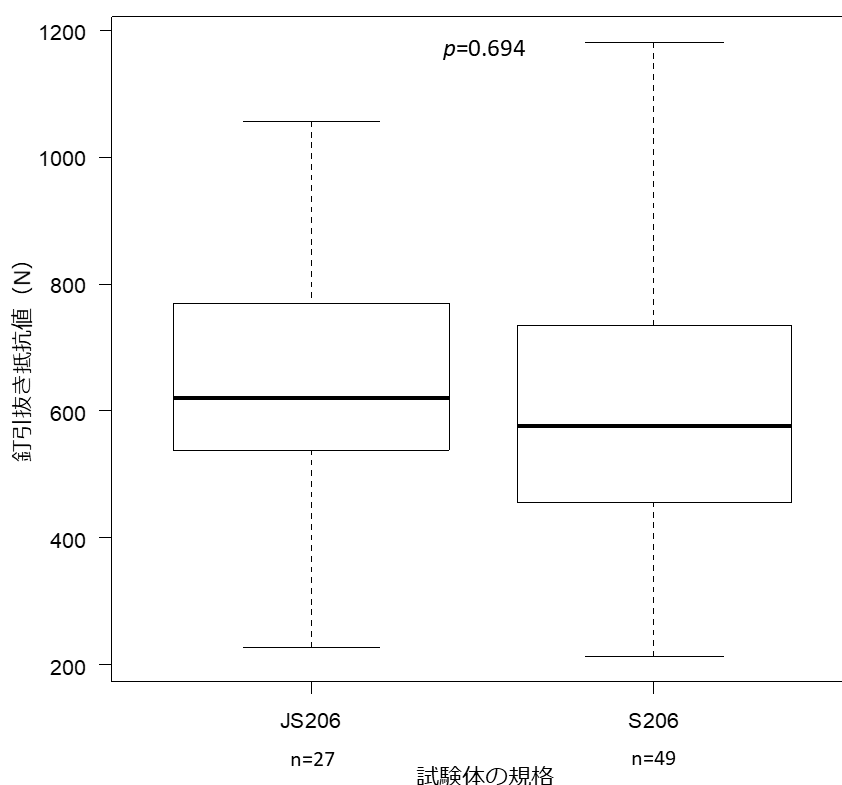


図-3 スギ及びS-P-F材の釘引き抜き抵抗値

n：試験体数

エラーバー：最大値及び最小値

IV おわりに

本研究では前報(町田ら, 2018)で、未報告であったスギ206材、208材及び210材の強度性能を評価した。加えてツーバイフォー工法で特有にみられる木口面の釘の引抜き抵抗値をスギ206材とS-P-F206材を対象に測定した。その結果、県産スギツーバイフォー材の静的曲げヤング係数においていずれの寸法においても平均値が基準弾性係数を満たしており、また釘引き抜き試験からは、S-P-F材と同様の釘の保持力を持つことが明らかとなった。合計1,230体に及ぶスギツーバイフォー材の静的曲げヤング係数の分布状況は、今後県産スギツーバイフォー材を扱う際の技術指標になることは明らかであり、また、出材が見込まれるスギ大径材、中目材の利用方法のひとつとして、県産スギツーバイフォー材は、枠組み壁工法部材として十分利用可能であると考えられた。

謝辞

本研究を進めるに当たり、S-P-F材の提供に御協力いただいた(株)長谷萬小林辰巳氏に厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 秋田県立大学木材高度加工研究所(2011), コンサイス木材百科, pp261, 秋田
- 枠組壁工法構造用製材及び枠組壁工法構造用たて継ぎ材の日本農林規格(昭和49年7月8日農林省告示第600号, 改正平成27年3月9日農林水産省告示第512号)
- 町田初男・工藤康夫(2018), 県産材を使用した枠組壁工法部材の性能評価, 群馬県林業試験場研究報告第21号, 56-65
- 日刊木材新聞 2018.3.16付, 日刊木材新聞社, 2018年3月
- 木材の基準強度 F_c 、 F_t 、 F_b 、及び F_s を定める件(平成12年12月26日建設省告示第2465号、改正平成27年8月4日国土交通省告示第910号)
- (社)日本ツーバイフォー建築協会, 2007年枠組壁工法建築物構造計算指針, P.137-138, 2007.11 構造設計指針
- 林野庁(2016), 令和元年度森林・林業白書 178pp, 2021.6
- 日本経済新聞社, 日本経済新聞電子版「住宅向け木材、米国で高騰」2020年9月9日 11:30
- 日本経済新聞社, 日本経済新聞電子版「住宅向け木材、米で下落 買い控え・急騰の反動、対日価格は強含み」2020年11月19日 20:45