

長大スパンに対応する接着重ね材の開発

－ 心持ち正角材をたて継ぎした製材ラミナを用いた接着重ね材 －

令和2年度～令和4年度

木材チーム 山本 幸雄

1. 目的

平成22年に施行された「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」により、非住宅分野建築物の木造化が促進されている。これら非住宅分野の建築物では大きな空間が必要なため、長大スパンに対応できる大断面集成材が使用されることが多いが、県内にはそれを製造できる工場はない。

このような中、平成31年1月に接着重ね材の日本農林規格¹⁾(以下、JASと記す)が制定された。接着重ね材とは、構造用に使用する断面が105～150mmの製材(以下、製材ラミナと記す)を、その繊維方向を互いにほぼ平行にして厚さ方向に2～5層積層接着した構造用木材である。これにより集成材とほぼ同様な、長辺が最大で750mmの構造材を、一般に流通している寸法の製材品で製造できるようになった。また接着重ね材には、集成材に比べ接着剤の使用量が少なく、圧縮するための設備と養生を行うための施設のみの少ない投資で製作が可能といった利点が挙げられることから、県内製材所での加工が可能となり、県産材の需要拡大につながる。

しかし、JASには製材ラミナのたて継ぎに関する規定がなく、接着重ね材の長さは一般的に流通している製材品の長さの制約を受けることになり、4mを超えるスパンへの対応は困難である。そこで昨年度に引き続き、フィンガージョイント(以下、FJと記す)や接合強さ向上を目指しFJとGIR(Glued in Rod: 木材に穴をあけ、そこに鋼棒等の接合具を挿入し、木材との空隙に接着剤を注入・充填し接合する方法。模式図を図-1に示す)を併用(以下、FJ+GIRと記す)し、たて継ぎした心持ち製材ラミナで接着重ね材を作製し、曲げ試験を行い、その性能を検討したので報告する。

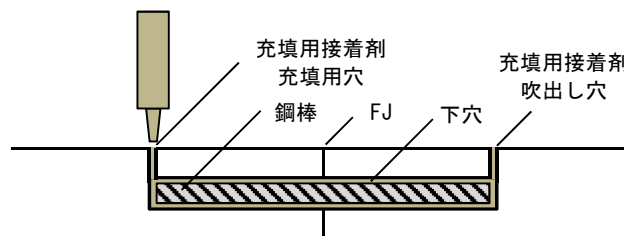


図-1 FJ+GIRの模式図

2. 試験方法

昨年度、大分県産スギ製材品をFJでたて継ぎした製材ラミナ(以下、FJ製材ラミナと記す)で作製した接着重ね材の曲げ試験を行い、その性能を検討した。本年度は、①スギ製材品を、FJ+GIRでたて継ぎした製材ラミナ(以下、FJ+GIR製材ラミナと記す)で作製したスギ接着重ね材、②ヒノキFJ製材ラミナで作製した接着重ね材、③ヒノキFJ+GIR製材ラミナで作製した接着重ね材、④スギFJラミナを内層に、ヒノキFJ+GIR製材ラミナを外層に配置した異樹種接着重ね材を作製し、曲げ試験を行った。

1) たて継ぎ製材ラミナの引張試験

たて継ぎした製材ラミナで接着重ね材を作製するにあたり、FJ製材ラミナの引張試験、FJ+GIR製材ラミナの引張試験を行った。

(1) 供試材

大分県内で製材、乾燥（含水率 15%以下）された、寸法 105mm×105mm×3 m のスギ製材品 24 本と、ヒノキ製材品 22 本の寸法、重量、縦振動ヤング係数（以下、 E_{fr} と記す）を測定し、 E_{fr} の平均と標準偏差が同じになるように、それぞれを 2 グループに分けた。その後、長さ 1.5m の位置で切断し、切断した材同士を FJ または FJ+GIR 接合し、スギ FJ 製材ラミナとスギ FJ+GIR 製材ラミナを各 10 本、ヒノキ FJ 製材ラミナ 9 本とヒノキ FJ+GIR 製材ラミナ 8 本を作製した。FJ の位置について、FJ と節との距離は、材長方向で測定した節径の 3 倍以上²⁾ になるようにした。節位置の関係で切断した材同士がたて継ぎできなかつた場合、 E_{fr} になるべく近い材とたて継ぎした。

(2) FJ 製材ラミナ及び FJ+GIR 製材ラミナの作製

FJ の成形には、フィンガーシェイパー（飯田工業株式会社製 FJS-252T）を、接着には、水性高分子-イソシアネート系木材接着剤（株式会社オーシカ製 鹿印ピーアイボンド TP-4100（主剤：TP-4100、架橋剤：H-30））を用いた。接着剤の調合は重量部で、主剤 100 部に対し架橋剤を 10 部の割合とし、0.4MPa で圧縮し、1 日以上養生した。

FJ+GIR 接合は、切断した木口に、鋼棒（ ϕ 20mm、長さ 360mm の全ねじボルト）を挿入するための下穴（ ϕ 24mm 深さ 200mm）と、鋼棒固定用接着剤を充填するための穴（ ϕ 6mm）をあけた後、切断した木口に FJ を成形し接着剤を塗布、塗布後下穴に鋼棒を挿入し（写真-1）FJ を圧縮、鋼棒と下穴の間に GIR 用エポキシ接着剤（株式会社オーシカ製 オーシカダイナ TE-243L 2）を充填（写真-2）した。



写真-1 下穴に GIR 鋼棒を挿入した様子



写真-2 GIR 用接着剤を充填している様子



写真-3 引張試験の様子

(3) FJ 製材ラミナ及び FJ+GIR 製材ラミナの引張試験

試験には、木材引張試験機（飯田工業株式会社製 NET-401G）を用いた。試験の様子を写真-3 に示す。

2) 接着重ね材の作製と曲げ試験

(1) 供試材

大分県内で製材、乾燥（含水率 15%以下）された、寸法 105mm×105mm×3 m のスギ製材品 49 本とヒノキ製材品 92 本の寸法、重量、 E_{fr} を測定した。

(2) 接着重ね材の作製

接着重ね材の寸法は、100mm×300mm×5.6m、3層構成とした。接着重ね材の種類について、たて継ぎ製材ラミナの E_{fr} をもとに試験体構成の検討を行った。構成は JAS に準じ、非対称異等級構成を基本とした。

FJ 製材ラミナ、FJ+GIR 製材ラミナとも、等級区分が同じ長さ 3 m の製材 2 本をたて継ぎした製材ラミナ（以下、3-3 製材ラミナと記す）と、長さ 3 m の製材の両木口に 1.5 m 材をたて継ぎした製材ラミナ（以下、1.5-3-1.5 製材ラミナと記す）を図-2 に示すように組み合わせた。外層に 3-3 製材ラミナを配置したものを A タイプ、1.5-3-1.5 製材ラミナを配置したものを B タイプとした。

たて継ぎの接着剤について、製材ラミナの引張試験同様、FJ の接着にはピーアイボンド TP-4100 を、GIR の固定にはオーシカダイナ TE-243 L 2 を用いた。積層には、水性高分子-イソシアネート系木材接着剤（株式会社オーシカ製 鹿印ピーアイボンド TP-5340S（主剤：TP-5340S、架橋剤：H-50））を用いた。重量部で、主剤 100 部に対し架橋剤を 15 部の割合で調合し、ハンドローラーで積層面に対し約 300g/m² の割合で両面塗布した。その後、通直湾曲集材製造装置（小林機械工業製 M-RS）により圧縮し 60 分以上養生した。圧縮圧力は 0.8MPa とし、トルクレンチを用いてボルトの締め付けを管理した。その後、各試験体（写真-4）の寸法、重量、 E_{fr} を測定した。



写真-4 曲げ試験体の様子

樹種	引張側外層のたて継ぎ方法	A タイプ	B タイプ
スギ	FJ+GIR		
ヒノキ	FJ		
	FJ+GIR		
異樹種	FJ+GIR		

図-2 製材ラミナの組み合わせかた (FJ FJ+GIR スギ ヒノキ

(3) 曲げ試験

試験には、木材実大強度試験機（株式会社島津製作所製 UH-1000kNAR）を用いた。スパンは 5,400mm とした。加力点間距離はスパンの 4/18 倍である 1,200mm、加力速度は 10mm/min とした。加力及び支

持点の一端をピン支持、他端をピンローラー支持とした。変位は、ストレインゲージ式変位計（株式会社東京測器研究所製 SDP-200D 及び SDP-100CT）を用いてスパン中央及び加力点で測定した。試験の様子を写真-5に示す。

また、JAS に準じ、曲げ強さ（以下、 σ_b と記す）と曲げヤング係数（以下、 E_b と記す）を求めた。 E_b は最大荷重の10%と40%時の変位差と荷重差を用い求めた。ただし、試験体のめり込み変形は考慮しなかった。また、曲げ剛性（以下、 $E_b I$ と記す）及びFJ及びFJ+GIR製材ラミナの E_{fr} を用いた等価断面法²⁾による剛性（以下、 EI_e と記す）を求めた。



写真-5 曲げ試験の様子

3. 結果及び考察

1) たて継ぎ製材ラミナの引張試験

引張試験に供した3m製材の密度、 E_{fr} を表-1に、引張試験結果を表-2及び図-3に示す。スギについて、平均値、5%下限値³⁾とも、FJ+GIRがFJよりも大きくGIRによる補強の効果がみられた。スギの機械等級区分製材E70の引張基準強度は17.4MPa、E90が21.0MPaでFJだけでも十分に接合されていることが認められた。ヒノキについては、平均値、5%下限値とも、FJ+GIRとFJで大きな差がなく、GIRによる補強の効果がみられなかった。FJ+GIRの場合、GIRの下穴の端で破壊することが多く、GIRによる補強と、下穴による断面欠損積の影響がほぼ釣り合ってしまった可能性がある。ヒノキの機械等級区分製材E110の引張基準強度は23.4MPaで、スギ同様FJだけでも十分に接合されていることが認められた。

2) 接着重ね材の作製と曲げ試験

試験に供した3m製材の密度、 E_{fr} を表-3に、作製した接着重ね材の曲げ試験結果を表-4に示す。強度等級について、作製した接着重ね材がJASの強度等級と一致しなかった場合、構成製材ラミナの等級区分を区分以上と読み替え格付けした。

図-4にJASの E_b の基準値（以下、JAS基準 E_b と記す）と、 E_{fr} 、 E_b の関係を示す。スギFJ+GIRのAタイプの3番とBタイプの3番の2体がJAS基準値を下回った。これは、試験体のめり込み変形を考

表-1 供試材の密度と E_{fr}

樹種	項目	密度(kg/m ³)	E_{fr} (GPa)
スギ (24本)	平均	416.2	7.64
	最小	361.7	5.65
	最大	524.0	10.42
	標準偏差	41.9	1.11
ヒノキ (22本)	平均	519.5	11.72
	最小	451.0	8.70
	最大	564.4	14.58
	標準偏差	30.3	1.61

表-2 引張試験結果(MPa)

	スギ		ヒノキ	
	FJ	FJ+GIR	FJ	FJ+GIR
平均	26.40	30.28	28.32	31.15
最小	19.88	25.20	19.86	22.16
最大	34.69	35.75	36.66	41.32
標準偏差	4.31	3.80	5.60	6.09
5%下限値	17.33	22.29	16.33	17.83

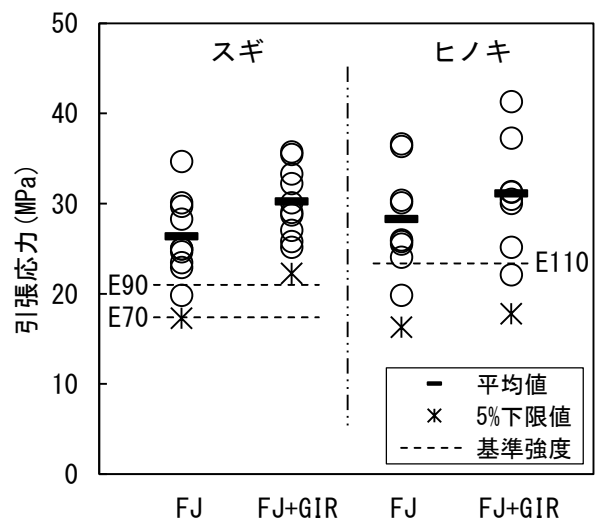


図-3 引張試験結果

慮しなかったためと思われる。樹種ごとの E_b の平均値について、ヒノキ (11.3GPa) > 異樹種 (10.6GPa) > スギ (7.6 GPa) となり、ヒノキを外層に配置することでスギのみの接着重ね材よりも効率的に E_b を高くすることができることを確認できた。

図-5に JAS の σ_b の基準値 (以下、JAS 基準 σ_b と記す) と σ_b の関係を示す。ヒノキ FJ の B タイプ 1 体が JAS 基準値を下回ったが、詳細な理由は分から

表-3 供試材の密度、 E_{fr}

樹種	スギ (49本)		ヒノキ (92本)	
	密度 (kg/m ³)	E_{fr} (GPa)	密度 (kg/m ³)	E_{fr} (GPa)
平均	431.3	8.19	526.0	11.35
最小	352.4	6.19	434.5	7.94
最大	556.6	10.44	614.1	15.13
標準偏差	46.6	1.18	36.9	1.34

表-4 曲げ試験結果

樹種	接合方法	種類	番号	強度等級	E_{fr} (GPa)	最大荷重 (kN)	E_b (GPa)	σ_b (MPa)	$E_b I$ (10 ⁹ kN・mm ²)	$E I_e$ (10 ⁹ kN・mm ²)		
スギ	FJ + GIR	A	1	E70-F220	8.23	60.43	7.87	40.61	1.865	1.776		
			2	E70-F220	9.15	62.70	8.08	42.35	1.904	1.835		
			3	E80-F240	7.27	50.97	7.12	34.33	1.682	2.088		
		B	1	E70-F220	7.95	69.98	7.60	47.17	1.794	2.049		
			2	E80-F240	8.46	70.88	7.88	47.94	1.853	1.952		
			3	E80-F240	7.37	64.66	7.07	43.75	1.660	2.004		
ヒノキ	FJ	A	1	E115-F290	12.47	52.34	11.96	35.37	2.813	3.038		
			2	E100-F280	12.40	74.16	11.36	50.05	2.676	2.840		
			3	E90-F250	10.58	45.08	10.46	30.55	2.450	2.587		
			4	E100-F280	11.44	55.52	10.94	37.55	2.570	2.761		
		B	1	E110-F300	12.73	41.74	11.68	28.27	2.737	3.018		
			FJ + GIR	A	1	E110-F300	12.81	87.82	12.17	59.16	2.872	3.127
					2	E95-F230	11.13	66.55	10.73	44.68	2.540	2.630
					3	E110-F300	11.78	74.43	10.97	50.13	2.591	2.810
	B	1		E100-F280	11.70	75.79	11.11	51.22	2.613	2.778		
		2		E95-F230	10.86	45.58	10.47	30.78	2.465	2.601		
		3		E110-F300	12.94	56.29	12.24	38.06	2.880	3.098		
	異樹種	FJ + GIR	A	1	E110-F300	11.97	47.37	12.02	32.10	2.819	3.009	
2				E80-F220	9.83	41.55	9.18	28.10	2.161	2.345		
3				E70-F200	8.95	52.37	8.66	35.41	2.034	2.168		
B			1	E110-F300	12.14	76.73	12.52	51.75	2.950	3.004		
			2	E90-F250	10.47	62.30	10.20	42.20	2.396	2.476		
			3	E100-F280	11.21	50.45	10.81	33.99	2.553	2.761		

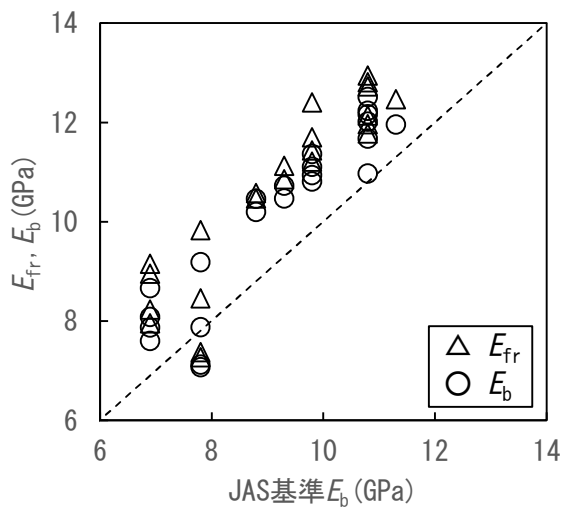


図-4 JAS 基準 E_b と E_{fr} 、 E_b の関係

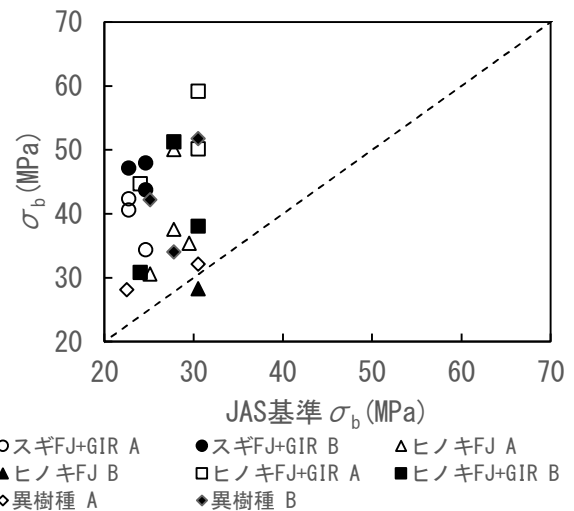


図-5 JAS 基準 σ_b と σ_b の関係

なかった。また、ヒノキ A タイプでは FJ より FJ+GIR が高くなった。製材ラミナの引張試験では、FJ と FJ+GIR で大きな差は無かったが、曲げ試験では差が見られた。なぜ差が出たのか明確な理由は分からなかった。

図-6 に E_b との σ_b の関係を、図-7 に EI_e と $E_b I$ の関係を示す。剛性について EI_e と $E_b I$ について高い相関を示した。

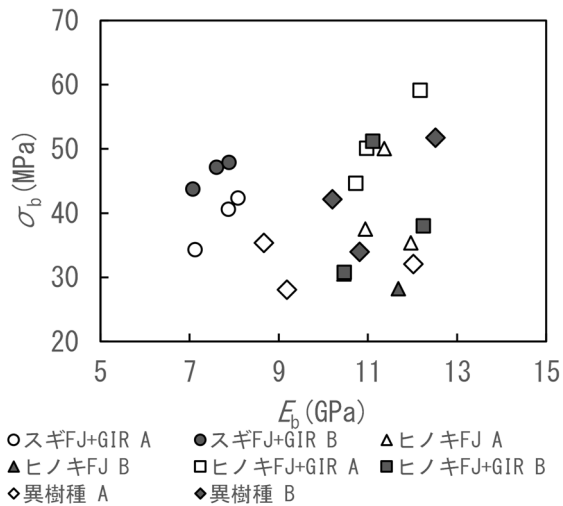


図-6 E_b と σ_b の関係

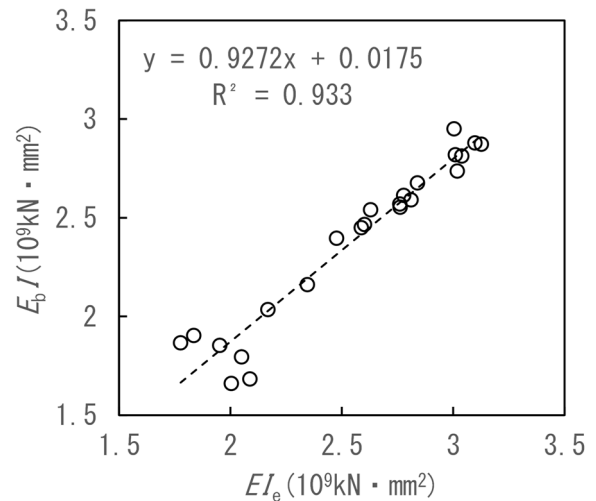


図-7 EI_e と $E_b I$ の関係

4. まとめ

大分県内で製材されたスギ・ヒノキ（心持ち材）の FJ 製材ラミナ及び FJ+GIR 製材ラミナを用いた接着重ね材を JAS に準じ作製し、曲げ試験を行った結果、 E_b は 23 本中 21 本が、 σ_b は 23 本中 22 本が JAS の基準値を満足した。これらのことから、大分県産材で作製した接着重ね材は、樹種、たて継ぎの種類、たて継ぎの位置によらず、JAS の基準値を満足できると考えられる。

謝辞

今回の試験では、大分大学工学部理工学科建築学プログラム木質構造研究室 田中 圭准教授及び同研究室の学生の方々に、多大なご協力を頂きました。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 接着重ね材の日本農林規格 (JAS0006 : 2019) 平成31年 1 月 31 日農林水産省告示第179号
- 2) 日本木材学会 木材強度・木質構造研究会編：ティンバーメカニクス 木材の力学理論と応用, 183-192p (平成27年)
- 3) 財団法人日本建築学会編：木質構造設計基準・同解説 -許容応力度・許容耐力設計法-, 153p (平成18年)