カラマツ大径材から製材した枠組壁工法構造用製材寸法形式 210 と新用途の開発

研究期間:令和元年度~5年度 小池直樹·今井信^{*1}·吉田孝久·奥原祐司·山口健太^{*2}·吉川達也^{*3}

長野県産カラマツ 210 材の乾燥について、4 日間の 95℃中温乾燥スケジュールにより仕上がり含水率 15%とするこ とが可能であった。FJ 材について、「甲種たて継ぎ材の接着の程度」の評価試験を実施した結果、煮沸繰返し試験及び 減圧加圧試験の全ての試験片の平均剥離率が 5%以下であり、「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」の「甲種たて継ぎ材の接着の程度」に適合していた。カラマツ 210 材を用いた NLT について、実 大曲げ試験と釘せん断試験を実施し、木造建築新工法性能認証を受けている NLT の強度計算方法が、今回の試験体製 作条件において実用上問題がないことが確認できた。

キーワード:カラマツ,ツーバイフォー,210材,フィンガージョイント,NLT

目次

緒言

- 第1章 乾燥
 - 1.1 目的
 - 1.2 試験方法
 - 1.3 結果
- 第2章 たて継ぎ材の接着性能
 - 2.1 目的
 - 2.2 試験方法
 - 2.3 結果
- 第3章 NLTの強度特性
 - 3.1 目的
 - 3.2 曲げ試験
 - 3.3 釘せん断試験
 - 3.4 強度計算方法の検証

まとめ

緒言

長野県内人工林の過半を占めるカラマツ林は,13 齢級がピークとなる成熟期を迎えており,カラマツ 大径材の有効利用への取り組みは喫緊の課題とな っている。

長野県では大径材の大断面を活かせる枠組壁工 法構造用製材(以下,2×4製材)の寸法形式210(38 ×235mm)(以下,210材)としての利用について,信 州木材認証製品センターが中心となり複数年度の 林野庁補助事業の採択を受けて研究を続けてきて おり,成果の一部は論文として発表してきた¹⁻³⁾。 本報告では既報分を除いた研究成果すなわち乾燥 方法,縦継ぎ部の接着性能およびカラマツ210材を 用いたNLT (Nail-Laminated Timber)の強度特 性について述べる。

本研究は受託事業「大径 A 材丸太(信州カラマツ ほか)の新需要創出に向けた技術開発・実証事業」, 「大径 A 材丸太の社会実装に向けた新需要技術開 発・実証検証事業」,「信州カラマツ 210 材を用いた NLT技術開発・実証及び信州カラマツ 210 材普及 事業」並びに県単課題「大径 A 材丸太を活用した高 剛性・高強度梁桁材の開発とその性能評価」(令和 元年度~5 年度)として実施した。また,本研究の 一部は 2020 年度日本木材学会中部支部大会(長野) において発表した。

※1元 林業総合センター所長, ※2 現 北アルプス地域振興局, ※3 現 松本地域振興局

第1章 乾燥

1.1 目的

カラマツ 210 材の乾燥方法については既報⁴⁾が あるが、当時は含水率 12%以下を目指しており、そ の後 JAS の規格改正により含水率平均 15%以下の規 格が追加された。本章では仕上がり目標平均含水率 15%以下を目標とし、より低コストな乾燥方法・乾 燥条件の構築に向けた検討を実施する。

1.2 試験の方法

1.2.1 供試材

試験に供した大径材は,斉藤木材工業㈱が構造用 集成材の原木として用意した長野県東信産カラマ ツ4m丸太,末口径32cmの椪積から20本を供試 木とした。丸太の形質を表1-1に示す。

末口短径は,平均値で 333mm,標準偏差は,11mm, 最小 315mm,最大 364mm であった。末口年輪数は, 平均値で末口 52年,元口 59年であった。

縦振動ヤング係数(Efr-log)は、平均値で 12.5kN/mm2,標準偏差は、1.5 kN/mm2,であった。 素材の日本農林規格の縦振動ヤング係数区分に準 じた度数分布を図 1-1 に示す。





1.2.2 乾燥試験の方法

末口径 32cm 丸太から 210 材, 208 材及び高強度 集成材ラミナを製材する木取りを図 1-2 に示す。製 材寸法は, 210 材:48×250×4,000mm, 208 材:48 ×200×4,000mm, 高強度集成材ラミナ 40×125× 4,000mm とする。同一丸太から左右それぞれ1 体ず つとするが, 髄を割る製材とはなっていない。

まず,20本の供試丸太について,得られた縦振 動ヤング係数の平均値と,変動係数がほぼ等しくな るように各10本,2つのグループに分けて乾燥試 験を実施した。

1グループ10本については、左右2分割の片方 を既報⁴⁾と同様の中温乾燥スケジュール(以下, 80℃中温と表記する)で乾燥し、左右2分割のもう 一方を高温セット乾燥スケジュール(以下,高温セ ットと表記する)で乾燥する。

また, もう1グループ10本については, 上記と 同様に, 左右2分割の片方を既報⁴⁾と同様の80℃ 中温乾燥で乾燥し, 左右2分割のもう一方を95℃ 中温乾燥スケジュール(以下,95℃中温と表記する) で乾燥する。





図 1-2 末口径 32cm 丸太の木取り図

表 1-1 カラマツ供試体の丸丸	太形質(末口径 32cm)
------------------	---------------

カラマツ	短径((mm)	年朝	輸数	末口	末口	心材率	細り	見かけの比重	E _{fr-log}
32cm	末口	元口	末口	元口	平均年輪幅	心材径	(%)	(mm/m)	(kg/m ³)	(kN/mm ²)
平均	333	369	52	59	3.27	283	85.0	4.9	791	12.5
標準偏差	11	25	6	5	0.44	17	3.7	2.6	87	1.5
変動係数	3.4	6.6	11.2	9.2	13.4	6.0	4.3	53.1	11.0	11.8
最小	315	340	41	49	2.73	260	79.7	1.2	598	8.8
最大	364	420	60	66	4.24	325	92.9	10.2	903	14.4
データ数	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20

乾球温度	湿球温度	温度差	処理問	}間(h)	備者
(°C)	(°C)	(°C)	H30,R1	R2	2 · mu
80	80	0	8	8	蒸煮処理
80	75	5	12	12	
80	70	10	12	12	
80	65	15	12	12	中温乾燥
80	60	20	12	12	
80	50	30	158	141	
-	-	-	2	0	クーリング
70	63	7	24	12	調湿(EMC:10.3%)
0		스러	240	209	時間
		i al	10	8.71	日間

表 1-2 80℃中温乾燥スケジュール

表 1-3 高温セット乾燥スケジュール

乾球温度 (℃)	湿球温度 (℃)	温度差 (℃)	処理時間 (h)	備考
90	90	0	6	蒸煮処理
110	80	30	18	高温セット
80	50	30	47	中温乾燥
-	-	-	1	クーリング
70	65	5	12	調湿(EMC:12.1%)
		스러	84	時間
		ΠāΙ	3.50	日間

表 1-4 95℃中温乾燥スケジュール

乾球温度 (℃)	湿球温度 (℃)	温度差 (℃)	<mark>処理時間</mark> (h)	備考
90	90	0	6	蒸煮処理
95	65	30	65	中温乾燥
-	-	-	1	クーリング
70	65	5	12	調湿(EMC:12.1%)
		스러	84	時間
-		ΠāΙ	3.50	日間

1.2.3 曲げ試験の方法

曲げ試験条件を図 1-3 に示す。曲げ試験は,実大 材曲げ試験機 UH-1000Kna (島津製作所)を用いて, 210 材は,支点間距離 3,760mm (梁せいの 16 倍), 荷重点間距離 1,253mm の 3 等分点 4 点荷重方式で 行った。荷重を加え始めてから試験体が破壊するま での時間を 1 分以上となるよう載荷速度は 10mm/min で実施した。荷重点および支点の幅はと もに 200mm であり,曲げ載荷時の試験体の横座屈を 防止する目的でラテラルサポート(横座屈防止治具) 4 基を設置した。曲げ試験の実施状況を写真 1-1 に 示した。

たわみの計測は、中央部において、全スパンのた わみ(写真 1-2)と、600mmのヨークを用いて曲げ モーメントが一定になる荷重点間のたわみ(写真 1-3)を測定した。最大荷重Fultから曲げ強さ(Fb) を求め、また、荷重と全スパンのたわみから「見か けの曲げヤング係数(Em)」を、荷重とヨークを用 いた曲げモーメントー定区間のたわみから「真の曲 げヤング係数(Eb)」を次式から算出した。







写真 1-1 曲げ強度試験の実施状況



写真 1-2 全スパンのたわみの測定



写真 1-3 荷重点間内のたわみの測定

1.3 結果

1.3.1 全乾法含水率

含水率試験片は,曲げ試験終了後,4m 試験体の 長さ方向の両端部から約50cm内側から各1個切り 出しその平均値とした。なお,乾燥終了後約4か月 経過していた。

210 材の全乾法含水率と全乾密度の概要を表 1-5 に示し、順位化した全乾法含水率を図 1-4 に示す。 また、同一の丸太から製材した 210 材について、 80℃中温乾燥材の含水率を横軸に、高温セット乾 燥材及び 95℃中温乾燥材を縦軸として図 1-5 に示 す。仕上がり含水率(全乾法含水率)について,80℃ 中温乾燥は平均値で 10.6% (最小:9.2%,最 大:12.1%)に、高温セット乾燥は平均値で 15.2% (最小:14.0%,最大:16.1%)に、95℃中温乾燥は、 平均値で 13.3%(最小:12.1%,最大:14.5%)に仕上 がり,80℃中温乾燥<95℃中温乾燥<高温セットと なった。なお高温セット乾燥では、15%を超える試 験体が多数確認された。



図 1-5 同一丸太から製材した 210 材の 全乾法含水率

表 1-5 210 材の全乾法含水率と全乾密度

210##	80℃	中温	高温t	ニット	95℃	中温
210/1/	含水率(%)	全乾密度(g/cm ³)	含水率(%)	全乾密度(g/cm ³)	含水率(%)	全乾密度(g/cm ³)
平均	10.6	0.50	15.2	0.50	13.3	0.48
標準偏差	0.8	0.04	0.8	0.04	1.0	0.03
変動係数(%)	7.9	7.4	5.1	7.2	7.3	6.8
最小	9.2	0.44	14.0	0.44	12.1	0.44
最大	12.1	0.56	16.1	0.55	14.5	0.54
データ数	17	14	10	9	10	9

1.3.2 乾燥後の形質変化

210 材の乾燥後(モルダー後)のそり,曲がり, ねじれの測定値を表 1-6 に示す。次に,同一の丸太 から製材した 210 材について,80℃中温乾燥材の反 りを横軸に,高温セット乾燥材及び 95℃中温乾燥 材の反りを縦軸として図1-6に示し,同様に曲がり を図1-7に,ねじれを図1-8に示す。乾燥方法によ る違いよりも,同一丸太から製材された材が同様の 変化をする傾向が確認された。

210**	Ŀ.	豆り(mm/4m)	曲	iがり(mm/4r	n)	ね	じれ(mm/4r	n)
210//J	80℃中温	高温セット	95℃中温	80℃中温	高温セット	95℃中温	80℃中温	高温セット	95℃中温
平均	9.3	6.9	11.8	1.2	1.4	2.7	8.5	8.9	14.6
標準偏差	4.6	4.0	6.6	1.5	1.3	2.2	4.9	6.7	6.0
変動係数(%)	49.2	57.3	55.8	123.8	90.4	80.1	57.2	75.0	41.1
最小	3	3	3	0	0	1	0	0	3
最大	18	14	25	5	4	8	19	21	22
データ数	16	10	10	16	10	10	16	10	10

表 1-6 210 材の乾燥後(製品時)の形質変化





図 1-8 同一丸太から製材した 210 材のねじれ



図 1-7 同一丸太から製材した 210 材の曲がり

1.3.3 曲げ試験結果

曲げ試験から得られた見かけのヤング係数 (kN/mm²)(以下, MOE と表記する)及び曲げ強さ (N/mm²)(以下, MOR と表記する)について,表1-7に示す。

次に、210 材の順位化した MOE を図 1-9 に示し、 MOR を図 1-10 に、乾燥前の縦振動ヤング係数 (kN/mm2)(以下, Efr)を図 1-11 に示した。 また,得られた MOE と MOR の関係について図 1-12 に示した。乾燥前の Efr 分布と乾燥後の MOE 及び MOR の分布は同様の傾向を示し,乾燥方法の違いに よる分布傾向の変化は確認できなった。また,いず れの乾燥スケジュールにおいてもほぼすべての試 験材が JSⅢ(カラマツ)甲種特級の基準強度を上回 った。

	%08 80℃	中温	高温さ	zット	95℃	中温
210材	MOE	MOR	MOE	MOR	MOE	MOR
	(kN/mm ²)	(N/mm ²)	(kN/mm ²)	(N/mm ²)	(kN/mm ²)	(N/mm ²)
平均	13.16	44.9	11.72	39.0	11.44	35.3
標準偏差	2.0	19.9	1.7	11.4	1.7	13.5
変動係数(%)	15.4	44.4	14.3	29.3	14.9	38.2
最小	9.7	13.17	8.3	13.03	8.8	22.10
最大	16.6	77.37	13.4	52.56	14.1	58.94
データ数	16	16	10	10	10	10

表 1-7 210 材の MOE と MOR



□高温セット 095℃中温



- 88 -

第2章 たて継ぎ材の接着性能

2.1 目的

カラマツ 210 材の通常品では対応できないよう な長スパン横架材としての適用を目的とし 210 材 同士をたて継ぎしたフィンガージョイント(以下 FJ)材を開発し,「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」の甲種た て継ぎ材の「接着の程度」の評価を実施した。

2.2 試験の方法

2.2.1 試験片の作製

長野県東信産カラマツ4m材20本,木曽産4m材 10本の合計30本を供試木とし,床パネル作成用の たて継ぎ16フィンガージョイント210材(以下, 16f-FJ210材)を作製しそのうち18体を試験体と した。

たて継ぎ材のフィンガージョイント(以下,FJ) の基準寸法と規格を図 2-1 に示す。フィンガーの長 さは 18.63mm と 16mm 以上のため,フィンガーの中 央部を切断し,各 FJ 部について試験片 2 個を作成 した(写真 2-1)。

煮沸繰返し試験

FJ210 材 8 体から FJ 部を 10 箇所切り出し, 各 FJ 部について各 2 個, 合計 20 個の試験片を作製した。 減圧加圧試験

FJ210 材 10 体から FJ 部を 14 箇所切り出し,各 FJ 部について各 2 個,合計 28 個の試験片を作製した。



規格項目	記号	基準寸法
フィンガーの長さ	l	18.63mm
ピッチ	р	6mm
フィンガー先端厚さ	t ₁	0.8mm
フィンガーの底部幅	t ₂	0.6mm
勘合度	t ₁ -t ₂	0.2mm
スカーフ傾斜比	θ	1/8.1

図 2-1 FJの各部の基準寸法と規格



写真 2-1 FJ 接着性能試験片の作製

2.2.2 試験方法

「接着の程度」の評価は, 煮沸繰返し試験と減圧加 圧試験を行った。

煮沸繰返し試験の実施状況を写真 2-2 に示す。 試験片を煮沸水中に 5 時間浸せきし, 更に室温水



煮沸水中5時間浸せき

中に1時間浸せきした後,水中から取り出し,60± 3℃の恒温乾燥器中に 18 時間以上入れ,含水率が 19%以下となるように乾燥した後,試験片2個の平 均剥離率を算出した。



室温水中に1時間浸せき



処理試験体



60±3℃の恒温乾燥器中 18 時間以上

写真 2-2 煮沸繰返し試験の実施状況

次に,減圧加圧試験の実施状況を写真 2-3 に示 す。

試験片を室温水中に浸せきし、0.068MPa から 0.085MPa までによる減圧を 30 分間行い,更に 0.51



±0.03MPaの加圧を2時間行った後,水中から取り 出し,70±3℃の恒温乾燥器中に18時間以上入れ, 含水率が19%以下となるように乾燥した後,試験 片2個の平均剥離率を算出した。



室温水中に浸せき





減圧: 0.085MPa による減圧を 30 分間



70±3℃の恒温乾燥器中 18 時間以上



加圧: 0.51±0.03MPa の加圧を 2 時間

2.3 結果

煮沸繰返し試験の結果を表 2−1 に示し,減圧加圧 試験の結果を表 2−2 示した。

各試験片について,次式により剥離率を算出し, 平均剥離率は2個の試験片の剥離率の平均とした。 その結果,煮沸繰返し試験及び減圧加圧試験の全て の試験片の平均剥離率が5%以下であり,「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」の甲種たて継ぎ材の「接着の程度」 に適合していた。

木口面の剥離の長さの合計

剥離率(%)= ______ ×100 木口面の接着層の長さの合計

- 110 / 1			接着層		剥磨	隹			接着雇	1.11 cr	塑底	##	平均剥離率
記過喪1本INO.	記場更万 INO.	層数 (層)	1層の長さ (mm)	層の長さ合計 (mm)	剥離長さ (mm)	剥離率 (%)	記時天下NO.	層数 (層)	1層の長さ (mm)	層の長さ合計 (mm)	剥離長さ (mm)	剥離率 (%)	(%)
1(1)	1A(1)	78	38.05	2967.90	0.00	0.0	1B(1)	78	37.89	2955.42	00'0	0.0	0.0
1(2)	1A(2)	79	37.93	2996.47	0.00	0.0	1B(2)	78	37.95	2960.10	00.0	0.0	0.0
2	ZA	78	38.00	2964.00	4.33	0.1	2B	78	37.95	2960.10	00'0	0.0	0.1
С	ЗА	78	38.02	2965.56	00.00	0.0	3B	62	37.96	2998.84	00'0	0.0	0.0
4(1)	4A(1)	78	37.85	2952.30	30.75	1.0	4B(1)	78	37.84	2951.52	69'85	2.0	1.5
4(2)	4A(2)	78	37.93	2958.54	116.39	3.9	4B(2)	78	37.86	2953.08	23.58	0.8	2.4
5	ξA	78	37.94	2959.32	0.00	0.0	5B	62	37.91	2994.89	00'0	0.0	0.0
9	6A	78	37.97	2961.66	0.00	0.0	6B	78	37.93	2958.54	00'0	0.0	0.0
7	λA	78	37.90	2956.20	00.00	0.0	7B	78	38.00	2964.00	00'0	0.0	0.0
23	23A	78	37.92	2957.76	123.21	4.2	23B	78	37.98	2962.44	16.07	0.5	2.4

表 2-1 煮沸繰返し試験結果

カラマツ大径材から製材した枠組壁工法構造用製材寸法形式 210 と新用途の開発

- T T T T			接着雇		剥磨	##	╵╹╹╹╹		接着層		影響	Ħ	平均剥離率
記嗎我1年NO.	試馬列口NO.	層数 (層)	1層の長さ (mm)	層の長さ合計 (mm)	剥離長さ (mm)	剥離率 (%)	記馮東方NO.	層数 (層)	1暦の長さ (mm)	層の長さ合計 (mm)	剥離長さ (mm)	剥離率 (%)	(%)
1(1)	1A	78	37.95	2960.10	0.00	0.0	1B	78	37.92	2957.76	00.00	0.0	0.0
1(2)	2A(1)	78	37.94	2959.32	0.00	0.0	2B(1)	62	37.92	2995.68	0.00	0.0	0.0
2	2A(2)	62	37.90	2994.10	00.00	0.0	2B(2)	28	37.90	2956.20	00.00	0.0	0.0
ю	ЗА	78	37.98	2962.44	00.00	0.0	3B	78	37.93	2958.54	0.00	0.0	0.0
4(1)	4A(1)	78	37.98	2962.44	0.00	0.0	4B(1)	78	38.00	2964.00	0.00	0.0	0.0
4(2)	4A(2)	62	38.00	3002.00	00.00	0.0	4B(2)	62	37.97	2999.63	00.00	0.0	0.0
5	ΣA	78	37.96	2960.88	00.00	0.0	5B	82	37.97	2961.66	00.00	0.0	0.0
9	6A	78	37.91	2956.98	00.00	0.0	6B	62	37.91	2994.89	0.00	0.0	0.0
7(1)	7A(1)	79	37.94	2997.26	00.00	0.0	7B(1)	62	37.91	2994.89	00.00	0.0	0.0
7(2)	7A(2)	78	37.91	2956.98	00.00	0.0	7B(2)	78	37.93	2958.54	00.00	0.0	0.0
8	8A	62	37.85	2990.15	0.00	0.0	8B	62	37.86	2990.94	0.00	0.0	0.0
11(1)	11A(1)	78	37.85	2952.30	8.64	0.3	11B(1)	<i>LL</i>	37.95	2922.15	0.00	0.0	0.1
11(2)	11A(2)	62	37.90	2994.10	00.0	0.0	11B(2)	82	37.95	2960.10	10.99	0.4	0.2
12	12A	62	37.90	2994.10	0.00	0.0	12B	78	37.95	2960.10	145.95	4.9	2.5

表 2-2 减压加压試験結果

第3章 NLTの強度特性

- 3.1 目的
- 3.2 曲げ試験
- 3.3 釘せん断試験
- 3.4 強度計算方法の検証

3.1目的

NLT (Nail-Laminated Timber) は木材を隙間 なく縦に並べて釘等で緊結し一体化することによ り,床版や屋根版を構成する木質材料であり,日 本では公益財団法人日本住宅・木材技術センター

(以下「住木センター」)の木造建築新工法性能 認証(新工法NSK17al,令和2年7月31日認 証,認証取得者:(一社)日本ツーバイフォー建築 協会,カナダ林産業審議会)に従って設計・運用 される。カラマツは本認証の適用木材であるが, 認証申請の際に曲げ試験等が行われたのはスギ・ SPFのNLTにおいてであり,カラマツNLT の実大曲げ試験や釘せん断試験は行われていな い。⁵⁾

今回,カラマツNLTについても試験を行い実際の強度等を確認し認証を受けた強度計算方法を 検証することで,信州カラマツ大径材の有効活用 に必要な技術開発を進めると共に,枠組壁工法部 材の市場の不安定性の解消及び長野県産カラマツ の新たな利用拡大を図る。 3.2 曲げ試験

3.2.1 試験方法

3.2.1.1 NLT試験体作成用 210 材

NLT試験体作成用 210 材の仕様は甲種特級相 当材含水率 15%以下とした。納入された 100 枚の 210 材のうち,仕様に適合しない 46 枚を除いた 54 枚の密度と動的ヤング係数を測定した。測定結果を 表 3-1 に示す。

54 枚中 49 枚が文献⁶⁾に示される JAS 枠組材カラ マツ甲種特級の基準弾性係数(10.4kN/mm²)を上回 り,基準弾性係数が 50%下限値由来の数値⁷⁾であ ることを考慮すると,極めて良好な結果であった。

縦振動 ヤング係数 順位	縦振動 ヤング係数 (kN/mm ²)	密度 (g/cm ³)	縦振動 ヤング係数 順位	縦振動 ヤング係数 (kN/mm ²)	密度 (g/cm ³)	縦振動 ヤング係数 順位	縦振動 ヤング係数 (kN/mm ²)	密度 (g/cm ³)
1	7.83	0.46	19	12.85	0.58	37	15.65	0.56
2	8.99	0.45	20	12.93	0.50	38	15.74	0.59
3	9.06	0.45	21	13.06	0.56	39	15.93	0.57
4	9.45	0.44	22	13.13	0.50	40	15.94	0.53
5	10.12	0.47	23	13.38	0.53	41	16.02	0.53
6	10.51	0.51	24	13.44	0.54	42	16.04	0.56
7	10.90	0.53	25	13.59	0.55	43	16.07	0.59
8	10.97	0.51	26	14.17	0.57	44	16.27	0.57
9	11.03	0.54	27	14.33	0.58	45	16.29	0.60
10	11.48	0.57	28	14.52	0.53	46	16.60	0.55
11	11.73	0.53	29	14.58	0.50	47	16.83	0.55
12	11.83	0.46	30	15.04	0.55	48	16.96	0.61
13	11.85	0.55	31	15.07	0.55	49	17.27	0.59
14	12.08	0.44	32	15.08	0.53	50	17.97	0.55
15	12.27	0.47	33	15.11	0.54	51	17.98	0.57
16	12.28	0.46	34	15.30	0.53	52	18.12	0.56
17	12.55	0.49	35	15.31	0.57	53	18.85	0.64
18	12.70	0.50	36	15.61	0.56	54	18.97	0.60
						平均值	14.03	0.54
						最小値	7.83	0.44

表 3-1 NLT試験体作成用 210 材の物性値

最大値

18.97

0.64

3.2.1.2 NLT試験体

表 3-1 の候補材から表 3-2 のとおり選抜し、表-3-3 の仕様で、図 3-1 の木取り、図 3-2 の割付に 従ってNLTを作成した。物性値を確認した 54 枚 の 210 材から 42 枚のNLT構成要素を選抜するに あたり、ヤング係数で順位化し、甲種特級の基準 弾性係数 10.4kN/mm²未満の5 枚を除外し た中から,無作為に42枚を抽出した。残る7枚は 予備材とし,NLT作成の際著しい繊維傾斜が明 らかになったヤング係数順位26の210材は,予備 材の順位37の材と入れ替えた。これら一連の選 抜・木取り・割付・入れ替え等は(一社)日本ツ ーバイフォー建築協会の指示に従った。

縦振動 縦振動 縦振動 試験体 試験体 密度 試験体 密度 密度 割付 ヤング係数 割付 ヤング係数 割付 ヤング係数 番号 (g/cm3)番号 (g/cm3)番号 (g/cm3) (kN/mm2)(kN/mm2)(kN/mm2)(1) (1) (1) 0.57 15.93 0 51 10 51 0 53 1338 (2) 0.51 10.97 (2) 0.54 13.44 (2) 0.53 15.94 3 3 3 0.55 0.53 0.54 11.03 13.59 16.02 **(4) (4) (4)** 16.04 0.57 11.48 0.56 15.65 0.56 (5) (5) (5) 0.53 0.58 0.59 16.07 11.73 14.33 **(6**) 6 6 0.46 0.53 0.60 11.83 14.52 16.29 (7)(7) (7) 0.44 12.08 0.50 14.58 0.55 16.60 1 (8) 0.47 12.27 2 (8) 0.55 15.04 3 (8) 0.55 16.83 (9) (9) (9) 0 53 16.96 0.49 12 55 15 08 0.61 (10) (10) 0.54 (10) 0.59 17.27 0 50 12 70 15.11 (11) 0.58 12.85 (11)0.53 15.30 (11)0.55 17.97 (12) 12 (12) 0.50 12.93 0.57 15.31 0.57 17.98 (13) (13) (13) 0.56 13.06 0.56 15.61 0.64 18.85 14) 14 0.59 14) 0.50 13.13 15.74 0.60 18.97 平均 平均 平均 0.51 12.08 0.55 14.76 0.57 16.98

表 3-2 NLT試験体を構成する 210 材の物性値

表 3-3 NLT試験体仕様

項目	仕様・詳細
試験体数	3体
寸 法	厚235×幅228×全長8,690 mm 積層数:6層
構 成 (図 3-2)	1及び6層:345+4,000+4,000+345 mm 2層:2,745+4,000+1,945 mm 3層:1,145+4,000+3,545 mm 4層:3,545+4,000+1,145 mm 5層:1,945+4,000+2,745 mm
接合方法	 ・枠組材の接合方法 太め鉄丸釘CN75(JIS A5508) 表面処理なし、2列打ち ・1層目を除く奇数層の釘の縁短距離 縁距離30mm、短距離50mm ・偶数層の釘の縁短距離 縁距離30mm、短距離50mm ・枠組み材長さ方向の継ぎ手 あり(3~5mmのバットジョイント)



図 3-1 210 材からの木取り





3.2.1.3 試験方法

曲げ試験の概要及び変位計の設置場所を図 3-3 に示し、代表的な試験体設置の様子を写真 3-1 に 示す。加力方向は NLT の厚さ方向(枠組材の幅方 向)とし、3等分点4点荷重法で行った。実大材 曲げ強度試験機 UH-1000kNA(島津製作所)を用 い、ストローク変位5mm/minで破壊するま で加力した。変位は,巻込型変位計(#1~#8) で測定した。試験体下面のスパン中央及び左右 10mm 地点の変位を巻込型変位計(中央:#5~# 8,10mm 地点:#1~#4,図3-3下面(拡大図) 参照)で測定し,平均値をスパン中央変位とし曲 げヤング係数の算定に供した。



図 3-3 曲げ試験の概要および変位計配置図



写真 3-1 実大曲げ試験

曲げヤング係数(*Eb*)及び曲げ強度(*Fb*)は以下の式により算定した。

$$Eb = \frac{23\Delta Pl^3}{108bh^3\Delta y}$$

$$Fb = P_{max}l/b\hbar^2$$

ここで,

1 :スパン(8190mm)

b :試験体の幅(228mm)

h :試験体の高さ(235mm)

ΔP:最大荷重の約 40%の荷重と最大荷重の約 10%の 荷重との差 Δy:最大荷重の約 40%の荷重に対するスパン中央

変位と最大荷重の約 10%の荷重に対するスパン中 央変位(#1-#8 の平均値)との差 Pmax:最大荷重

3.2.2 結果

曲げ試験結果を表 3-4 に,荷重-スパン中央部変 位の関係を図 3-4 に示す。また,試験体の破壊状況 を写真 3-2 に示す。

試験体 No.	最大荷重 (kN)	曲げ強さ (N/mm²)	曲げヤング係数 (kN/mm ²)	破壊形態
1	27.9	18.2	8.65	- 芬香 と問の曲ば 神神
2	41.0	26.7	10.22	「何里は同の曲い彼域」
3	34.6	22.5	12.41	・取作習動按口部の已ん倒破壊

表 3-4 実大曲げ試験結果一覧



スパン中央部変位(mm)







No.1:曲げ破壊および最外層釘接合部のせん断破壊



No.1:曲げ破壊(下面)



No.2:曲げ破壊および最外層釘接合部のせん断破壊



No.2:曲げ破壊(下面)



No.3:曲げ破壊および最外層釘接合部のせん断破壊



No.3:曲げ破壊(下面)

写真 3-2 破壊状況

- 3.3 釘せん断試験
- 3.3.1 試験方法
- 3.3.1.1 試験体

用いる試験素材は実大曲げ試験で用いた 210 材 の端材としたが、実大曲げ試験には縦振動ヤング 係数が枠組材カラマツ甲種特級の基準弾性係数以 上の 210 材のみを用いていることに留意する必要 がある。 寸法は主材・側材共に 38×235×250 (mm) とし た。表 3-5 に試験体の構成と物性値を示す。な お,物性値は 4m 材時のものであり,寸法調整後再 度測定は行っていない。なお,使用した釘,ネイ ラー,製作者は実大曲げ試験体製作時と同じであ る。

主材				側材1				側材2		
試験体名	木取りNo.	縦振動 ヤング係数 (kN/mm2)	密度 (g/cm3)	木取りNo.	縦振動 ヤング係数 (kN/mm2)	密度 (g/cm3)	木取りNo.	縦振動 ヤング係数 (kN/mm2)	密度 (g/cm3)	加力方向
1-P		12.084	0.44		11.026	0.54		12.853	0.58	111 A.W
2-P	⑦−2	14.578	0.50	3-2	13.593	0.55	∭−2	15.298	0.53	繊維 亚行
3-P		16.603	0.55		16.015	0.53		17.974	0.55	Τ1]
1-V		12.266	0.47		11.026	0.54		12.853	0.58	14h 144
2-V	⑧ −2	15.043	0.55	3-3	13.593	0.55	(1)−3	15.298	0.53	繊維 直交
3-V		16.830	0.55		16.015	0.53		17.974	0.55	

表 3-5 釘せん断試験体の構成と物性値

3.3.1.2 試験方法

試験方法は枠組壁工法建築物構造設計指針⁶⁾に 準拠した,いわゆるロケット型試験とし図 3-5 のよ うな主材を 2 本の側材で挟み込み釘留めした試験 体を主材の頂部から一方向に圧縮荷重を加えるも のとした。ただし,釘の打ち込み方向は NLT の製造 の実態に合わせ,一方向から行った。代表的な試験 体設置の様子を写真 3-3 に示す。 加力は,実大材圧縮試験機 CCM-2000kNA (島津製作 所)を用い,ストローク変位 3.0mm/min(3-V のみ 5.0mm/min)で最大荷重に達するまで単調加力した。 荷重はクロスヘッド内蔵のロードセルで計測 し,主材ー側材間の相対変位(試験体の表裏で2 か所)は巻き取り式変位計で計測した。



図 3-5 釘せん断試験体試験体図(左:繊維平行、右:繊維直交 凡例 🔘:釘目視可 🔘:釘目視不可



写真 3-3 釘せん断試験体(1-P)加力前

3.3.2 結果

試験で得られた荷重変位曲線を図 3-6 に示す。 なお、図内の数値は釘4本あたりの数値である。 繊維平行の3体は主材ー側材の相対変位が30mmに 達するまでに最大荷重の80%まで荷重が低下しな かったが、繊維直交の3体は最大荷重の80%まで 荷重が低下した。代表的な試験後の試験体の様子 を写真3-4に示す。破壊性状について、繊維直交 の試験体2体に主材の割裂破壊が見られ、主材か ら打ち付けた2体分4本の釘のうち3本で釘頭 貫通が見られた(写真 3-5)。他の全ての釘の破壊 性状は引き抜けであった(写真 3-6)。引き抜けの 場合,側材→主材を留めつけている釘と主材→側 材を留めつけている釘とで変形の方向が異なるの が特徴的であったが,釘頭貫通が見られた試験体 では釘の変形の方向が同一となった。

荷重変位曲線は PickPoint 3.292⁸⁾により完全 弾塑性処理することで釘1本当たりの初期剛性 k(kN/mm)と終局耐力(=降伏点変位時の耐力)Δ Pv(kN)を算出した。試験結果を表 3-6 に示す。



写真 3-4 釘せん断試験体(1-P)加力後



写真 3-5 釘頭貫通



写真 3-6 引き抜け



表 3-6 釘せん断試験結果

図 3-6 荷重変位曲線

3.4 強度計算方法の検証

3.4.1 剛性低減率

NLTの構成材料(210材等)のヤング係数 に、0から1までの値をとる剛性低減率を乗じた ものがNLTのヤング係数として構造計算等に供 される。以下、認証の内容を一部抜粋する。

「バットジョイント部を木材添え板釘接合でモデ ル化した部材の剛性とその接合範囲におけるバッ トジョイントの無い部材の剛性の比を剛性低減率 とする。なお、6層ユニットに対して、最後(最初)の1枚を除いた積層数を有効積層数として実 積層数(6層)に対する比も乗じて剛性低減率と する。」

まず、認証を受けた剛性低減率を算出するため に必要な回転剛性 K_{θ} の計算式を転記すると下記 の通りである。



上記計算式に認証を受けている設計用釘のすべ り係数(=初期剛性) 610N/mmを代入した時の回 転剛性K $_{\theta}$ の算出過程を表 3-7 に示す。なお、釘 は2列打ちのため xi, yi の値をそれぞれ 2 倍し てから2乗し Ixi, Iyi を求めており,算出方法は (一社)日本ツーバイフォー建築協会の指導に従っ た。

表 3-7 回転剛性の算出

釘配置	xi mm	yi mm	I_{xt} mm ²	$\frac{l_x}{mm^2}$	$\frac{I_{yt}}{mm^2}$	I_y mm ²	I_p mm ²	k n N/mm	<i>K</i> _θ kNm/rad
(1)	750	87.5	2,250,000		30,625				
2	650	87.5	1,690,000		30,625				
3	550	87.5	1,210,000		30,625				
4	450	87.5	810,000	6 800 000	30,625	245 000	7 045 000	610	4 207
(5)	350	87.5	490,000	0.800,000	30,625	245,000	7,045,000	010	4,231
6	250	87.5	250,000		30,625				
(7)	150	87.5	90,000		30,625				
(8)	50	87.5	10,000		30.625				

また,認証を受けた剛性低減率の計算式を転記す ると下記の通りである。

$$\alpha_{EI} = \frac{\delta_{Lumber}}{\delta_{Lumber} + \delta_{Joint}} \cdot \frac{n_u - 1}{n_u} = \frac{K_\theta \cdot L_L^2}{K_\theta \cdot L_L^2 + 8EI_u c} \cdot \frac{5}{6} \cdots (2.5.1 \cdot 4)$$

$$n_u : 単位 NLT 版の積層数 (6 層)$$

$$\delta_{Lumber} : 両端に曲げモーメントを作用させた場合のランバーの曲げ変位$$

$$\delta_{Lumber} = \frac{ML_L^2}{8EI_u} \cdots (2.5.1 \cdot 5)$$

$$M : 単位モーメント, L_L : 基準ランバー長さ (標準 : 4000 mm)$$

$$E : ランバーのヤング係数 (基準弾性係数)$$

$$L_u : 単位 NLT 版の断面 2 次モーメント$$

$$I_u = b_u h^3 / 12 \cdots (2.5.1 \cdot 6)$$

$$h : 村背 (204:89 mm, 206:140 mm, 208:184 mm, 210:235 mm, 212:286 mm)$$

$$b_u : 単位 NLT 版の幅 (6 層分 : 38 mm × 6 = 228 mm)$$

$$\delta_{Joint} = \frac{Mc}{K_{\theta}} \cdots (2.5.1 \cdot 7)$$

M: 単位モーメント、<math>c: 基準ランバー端部から回転中心までの距離(標準 800mm) $K_{\theta}: 釘接合部の回転剛性(2.5.1-1)式より$

構造計算時, 釘のすべり係数 kn は設計用の定数 を用いるため, NLTの構造が同じであれば 210 材 の樹種やヤング係数に関わらず回転剛性K $_{\theta}$ は定 数となる。K $_{\theta}$ を定数としたとき, NLT構成要素 の 210 材のヤング係数が高くなるほど δ Lumber は小 さくなり, その結果剛性低減率 α EI は小さい値をと るため, 剛性はより低減される式となっている。

上記計算式に表 3-8 の定数等を代入し得られた 設計用剛性低減率 α_{EI}をカラマツ 210 材甲種特級 の基準弾性係数に乗じて得られるヤング係数を設 計用ヤング係数(設計値) Edv. とし,また各NLT を構成する 210 材平均縦振動ヤング係数を代入し て得られる理論上の剛性低減率 $\alpha_{calc.}$ を 210 材平 均縦振動ヤング係数に乗じて得られるNLTのヤ ング係数を推定ヤング係数(理論値) Ecalc. とし た。また,今回の実大曲げ試験で得られたNLT のヤング係数を実測ヤング係数(実験値) Eexpt. とし,これを 210 材平均縦振動ヤング係数で除し 実験剛性低減率 $\alpha_{expt.}$ を求めた。これらをまとめ て表 3-9 に示す。

材幅b (mm)	材背h (mm)	断面二次 モーメント Iu(mm4)	Ip (mm2)	積層数 n	断面係数 Z(mm3)	基準曲げ 強度 Fb-NLT (N/mm2)	基準弾性 係数E (N/mm2)	設計 すべり 係数Kn (N/mm)	回転剛性 K <i>θ</i> (kNm/rad)	単位 モーメント M(Nm)	ランハ [*] ー長さ L _L (mm)	回転中心 c(mm)
228	235	246,579,625	7,045,000	6	2.09855	10.2	10,400	610	4,297	7.848577	4,000	800

表 3-8 定数等

*1単位M:長期耐力相当時の曲げモーメント M=Fb-NLT × Z × 1.1/3

- 107 -

	変位量 (基準弾性係数由来)		変位量 (ランバー平均由来)		設計値 (基準弾性係数由来)		理論値 (ランバー平均由来)		実験値 (実大曲げ試験)	
試験体 No.	δ Lumber (mm)	δ Joint (mm)	δ Lumber (mm)	δ Joint (mm)	αEI	Edv. (kN∕mm2)	α calc.	Ecalc. (kN∕mm2)	α expt.	Eexpt. (kN/mm2)
1	6.12	1.46	5.27	1.46	0.67	7.00	0.65	7.88	0.72	8.65
2	6.12	1.46	4.31	1.46	0.67	7.00	0.62	9.19	0.69	10.22
3	6.12	1.46	3.75	1.46	0.67	7.00	0.60	10.18	0.73	12.41

表 3-9 実験値との比較

3体のNLT実大曲げ試験体全ての実測ヤング 係数 Eexpt.は,設計用ヤング係数 Edv.の 7.00kN/mm2 や各NLTそれぞれの推定ヤング係数 Ecalc.を上回った。一方で,理論値 $\alpha_{calc.}$ が設計 値 α_{EI} を下回っているが,これは今回の試験で枠組 材カラマツ甲種特級の基準弾性係数以上の材を用 い,かつ回転剛性K₀を設計値k_n由来の定数とした ため,先述の通り剛性はより低減される結果となっ たものであり、低減された推定ヤング係数 Ecalc. が設計用ヤング係数 Edv. を上回っているため実用 上の問題はないように思われる。ただし、今回の 試験は縦振動ヤング係数が枠組材カラマツ甲種特 級の基準弾性係数以上と確認できた 210 材のみ を、NLT試験体ごとにそれを構成する 210 材の ヤング係数のばらつきが小さくなるように組み合 わせたものである点に留意が必要である。

3.4.2 基準曲げ強度

以下,認証の内容を一部抜粋する。

「NLTの有効積層数を,最後(最初)の1枚を 除いた積層数とし,さらに,バットジョイントが5 層おきに繰り返される事を踏まえ,全体の4/5 を 有効として,基準強度を低減する。」

計算式を転記すると下記の通りである。

$F_{b-NLT} = \frac{n-1}{n} \times \frac{4}{5} \times K_Z \times F_b$
<i>F_{bNLT}</i> : バットジョイントを有する NLT の基準曲げ強度 n: NLT 版の積層数
Kz: 寸法調整係数(平 12 建告 1452 号第三)
Fb: ランバーの曲げ基準曲げ強度(平 12 建告 1452 号第三

上記計算式に n=6, 210 材の Kz=0.67, 枠組材カ ラマツ甲種特級の Fb=22.5 を代入すると, Fb-NLT= 10.2 が得られる。表 3-4 に示した通り, 今回の実 大曲げ試験体の実測曲げ強度はこれをすべて上回 っており,実用上の問題はないように思われる。た だし,今回の試験は縦振動ヤング係数が枠組材カラ マツ甲種特級の基準弾性係数以上の 210 材のみを 用いている点に留意が必要である。 3.4.3 設計用釘のすべり係数及び降伏耐力

以下,認証の内容を一部抜粋する。

「本設計で用いる釘1本当たりのすべり係数及 び降伏耐力は,安全側の評価となるSPFの結果を, 適用範囲内の樹種群共通として,設計に用いる事と する。」

認証を受けた値を表 3-10 に,今回の試験結果の 50%下限値等を表 3-11 に示す。

表 3-10 設計用釘のすべり係数及び降伏耐力

釢	植排車群	釘のすべり係数(N/mm)	降伏耐力(N)
CN75	適用範囲内の樹種群	610	860

表 3-11 釘せん断試験結果と設計値の比較

試験体名	初期剛性k (kN/mm)	降伏耐力Py (kN)	試験体名	初期剛性k (kN/mm)	降伏耐力Py (kN)
1-P	0.82	1.62	1-V	0.86	1.46
2-P	0.91	1.85	2-V	0.85	1.62
3-P	0.82	2.01	3-V	1.20	1.65
平均值	0.85	1.82	平均值	0.97	1.57
標準偏差	0.05	0.20	標準偏差	0.20	0.10
50%下限值	0.82	1.73	50%下限值	0.88	1.53
設計値	0.61	0.86	設計値	0.61	0.86

今回全試験体で設計値を上回る初期剛性と降伏 耐力が確認でき,その50%下限値は設計値を上回 った。ただし,今回の試験は縦振動ヤング係数が 枠組材カラマツ甲種特級の基準弾性係数以上と確 認できた210材のみを用いており,密度と初期剛 性の間に正の相関が知られる点に留意が必要であ る。また,主材側材間のヤング係数のばらつきを 大きくした場合等の釘せん断試験も今後必要と考 える。

まとめ

乾燥について,長野県産カラマツ210材は4日 間の95℃中温乾燥スケジュールにより仕上がり含 水率15%とすることが可能であった。

FJ 材について、「甲種たて継ぎ材の接着の程 度」の評価試験を実施した結果、煮沸繰返し試験 及び減圧加圧試験の全ての試験片の平均剥離率が 5%以下であり、「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」の「甲 種たて継ぎ材の接着の程度」に適合していた。

カラマツ 210 材を用いた NLT について,実大曲 げ試験と釘せん断試験を実施し,木造建築新工法 性能認証を受けている NLT の強度計算方法が今回 の試験体製作条件において実用上問題がないこと が確認できた。

謝辞

信州大学工学部松田昌洋助教に NLT の強度計算 方法等についてご助言を賜りました。深く感謝申し 上げます。

引用文献

- 1) 今井信. 大径丸太の 210 材利用の取り組み. 木材 工業. 2020, Vol. 75, No. 11, p. 527-530
- 2) 今井信・白石昭夫.カラマツ大径材から製材した枠組壁工法構造用たて継ぎ材寸法形式 210 の 性能評価(その1)曲げ強度性能と MSR 等級.木 材工業. 2023, Vol. 78, No. 6, p. 218-225
- 3) 今井信・白石昭夫.カラマツ大径材から製材した枠組壁工法構造用たて継ぎ材寸法形式 210の 性能評価(その2)曲げ,引張り強度特性と加力 方向による曲げ強度性能の違い.木材工業. 2023, Vol. 78, No. 10, p. 380-387
- 4) 吉田孝久・今井信・奥原祐司・山口健太. 208
 材・210 材の乾燥特性および強度性能の解明.長野県林業総合センター研究報告第35号, 2021, p.140-152
- 5) 一般社団法人日本ツーバイフォー建築協会.中 大規模建築物における木材利用の拡大のため の,NLT実用化に向けた研究開発事業報告 書.2020
- 6) 一般社団法人日本ツーバイフォー建築協会.
 2018 年枠組壁工法建築物構造計算指針.東京, 丸善出版,2018,400p.
- 7)長尾博文.第I部総説集:枠組壁工法に関する 技術基盤3.日本農林規格における国産樹種群 とその強度.木材工業.2020, Vol. 75, No. 11,
 p. 455-460
- 8) 軽部雅彦. "PickPoint". 荷重変形曲線の特 徴点抽出の自動化ツール PickPoint3.292. 2011-02-09.

https://www.ffpri.affrc.go.jp/labs/etj/karu be/PickPoint/index-j.html, (参照 2025-1-27)