

## 2.3.3.2 GLTの強度性能

### 2.3.3.2.1 曲げ・積層方向（面外曲げ）

#### (1) 試験方法

直交集成板のJASの曲げ試験に従い、スパンを材せい $h$ の21倍とした3等分点4点曲げ方式により曲げ・積層方向試験を行った。試験体の配置は、FJの多い側を引張側とした。試験の模式図を図2.3.3.2.1-1に示すとともに試験の様子を写真2.3.3.2.1-1～2に示す。最大容量が1000kNの実大木材強度試験機（前川試験機製作所製 SAH-100-SS）により荷重レンジを100kNとして载荷した。クロスヘッド速度は12mm/minとした。試験体の側面中央部に変位計（東京測器研究所製 SDP-200E）を設置し試験体の全たわみを測定するとともに、試験体の上部材面圧縮面上に変位計（東京測器研究所製 CDP-10）を取り付けた袴型治具（スパン800mm）を載せ、荷重点間における曲げたわみを測定した。試験終了後、全たわみから求めた見かけの曲げヤング係数、荷重点間のたわみから求めた真の曲げヤング係数、比例限度応力、曲げ強度を算出した。また、破壊部近傍から長さが約30mmの含水率測定用試験体を切り出し、全乾法で含水率を測定した。

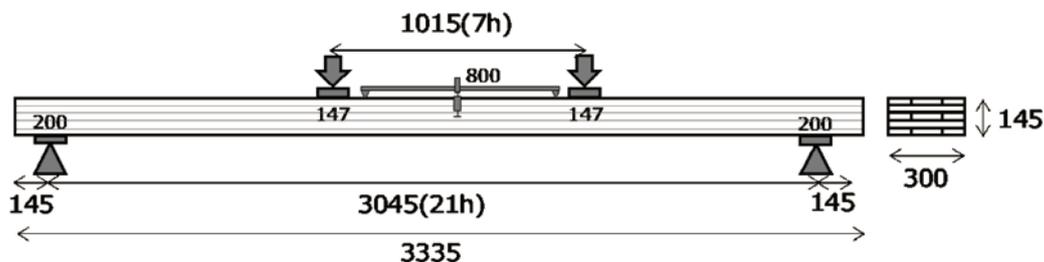


図 2.3.3.2.1-1 曲げ・積層方向試験の模式図（単位：mm）



写真 2.3.3.2.1-1～2 曲げ・積層方向試験の様子

#### (2) 結果

曲げ・積層方向試験の結果を表2.3.3.2.1-1に示すとともに、各グループの破壊形態の例を写真2.3.3.2.1-3～10に示す。いずれのグループも引張側FJが起点となり破壊するものが大部分を占めた。また、インサイジングの有無に関わらず、FJの破壊から接着層に長く進展するものも見られた。

表 2.3.3.2.1-1 曲げ・積層方向試験の結果

保存 処理材	インサイ ジング	原板 記号	応力 記号	試験体 番号	密度	含水率	縦振動法の ヤング係数	
					(kg/m <sup>3</sup> )	(%)	(kN/mm <sup>2</sup> )	
CUAZ	なし	IV	B	1	399	9.66	5.45	
CUAZ	なし	IV	B	2	396	9.72	5.73	
CUAZ	なし	IV	B	3	402	9.37	5.56	
CUAZ	なし	IV	B	4	401	9.69	5.53	
CUAZ	なし	IV	B	5	394	9.59	5.35	
CUAZ	なし	IV	B	6	396	9.39	5.60	
平均					398	9.57	5.54	
変動係数(%)					0.708	1.62	2.37	
CUAZ	あり	V	B	1	419	9.80	5.87	
CUAZ	あり	V	B	2	432	9.59	5.75	
CUAZ	あり	V	B	3	435	9.90	5.93	
CUAZ	あり	V	B	4	403	9.20	5.78	
CUAZ	あり	V	B	5	421	9.21	5.66	
CUAZ	あり	V	B	6	401	9.36	5.29	
平均					418	9.51	5.71	
変動係数(%)					3.42	3.18	3.96	

保存 処理材	インサイ ジング	原板 記号	応力 記号	試験体 番号	曲げたわみ振動法	TGH法	TGH法	曲げたわみ振動法	TGH法	TGH法
					ヤング係数 (面内)	ヤング係数 (面内)	せん断弾性係数 (面内)	ヤング係数 (面外)	ヤング係数 (面外)	せん断弾性係数 (面外)
					(kN/mm <sup>2</sup> )					
CUAZ	なし	IV	B	1	4.95	5.35	0.876	7.47	7.96	0.252
CUAZ	なし	IV	B	2	4.91	5.44	0.850	7.23	7.86	0.271
CUAZ	なし	IV	B	3	4.99	5.41	0.884	7.52	8.07	0.273
CUAZ	なし	IV	B	4	4.95	5.37	0.870	8.04	8.60	0.299
CUAZ	なし	IV	B	5	4.69	5.12	0.817	7.25	7.80	0.307
CUAZ	なし	IV	B	6	4.82	5.30	0.834	7.73	8.23	0.301
平均					4.89	5.33	0.855	7.54	8.09	0.284
変動係数(%)					2.26	2.15	3.06	4.07	3.64	7.68
CUAZ	あり	V	B	1	5.21	5.74	0.744	7.74	8.37	0.241
CUAZ	あり	V	B	2	5.14	5.65	0.806	7.41	8.07	0.248
CUAZ	あり	V	B	3	5.40	5.90	0.800	7.89	8.35	0.243
CUAZ	あり	V	B	4	5.33	5.87	0.705	7.27	8.02	0.222
CUAZ	あり	V	B	5	5.01	5.47	0.795	7.46	7.99	0.229
CUAZ	あり	V	B	6	4.68	5.18	0.730	6.49	7.13	0.229
平均					5.13	5.63	0.763	7.38	7.99	0.235
変動係数(%)					5.07	4.84	5.57	6.64	5.65	4.40

保存 処理材	インサイ ジング	原板 記号	応力 記号	試験体 番号	見かけの	真の	比例限度	曲げ・	破壊箇所
					曲げヤング係数	曲げヤング係数	応力	積層方向強度	
					(kN/mm <sup>2</sup> )	(kN/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	
CUAZ	なし	IV	B	1	7.51	9.03	18.7	21.3	FJ,節
CUAZ	なし	IV	B	2	7.55	-	18.4	18.4	FJ
CUAZ	なし	IV	B	3	7.70	8.91	14.0	21.4	FJ,節
CUAZ	なし	IV	B	4	8.02	9.21	12.7	18.3	FJ
CUAZ	なし	IV	B	5	8.00	8.87	15.1	22.6	FJ
CUAZ	なし	IV	B	6	7.73	8.97	11.8	20.5	FJ
平均					7.75	9.00	15.1	20.4	
変動係数(%)					2.79	1.46	19.0	8.51	
CUAZ	あり	V	B	1	7.47	8.81	17.1	19.5	FJ
CUAZ	あり	V	B	2	7.29	8.37	18.0	18.0	FJとその隣接ラミナ
CUAZ	あり	V	B	3	7.91	9.73	15.5	15.5	FJ
CUAZ	あり	V	B	4	7.41	8.52	9.3	14.6	FJ
CUAZ	あり	V	B	5	7.39	9.11	12.7	18.3	FJ
CUAZ	あり	V	B	6	6.47	7.49	14.5	17.4	FJ
平均					7.32	8.67	14.5	17.2	
変動係数(%)					6.41	8.69	21.9	10.8	

注：IV-B-2 の真の曲げヤング係数は測定時の不具合により測定されていない。



写真 2.3.3.2.1-3~4 インサイジングなしの破壊例 (IV-B-4)



写真 2.3.3.2.1-5~6 インサイジングなしの破壊例 (IV-B-5)



写真 2.3.3.2.1-7~8 インサイジングありの破壊例 (V-B-4)

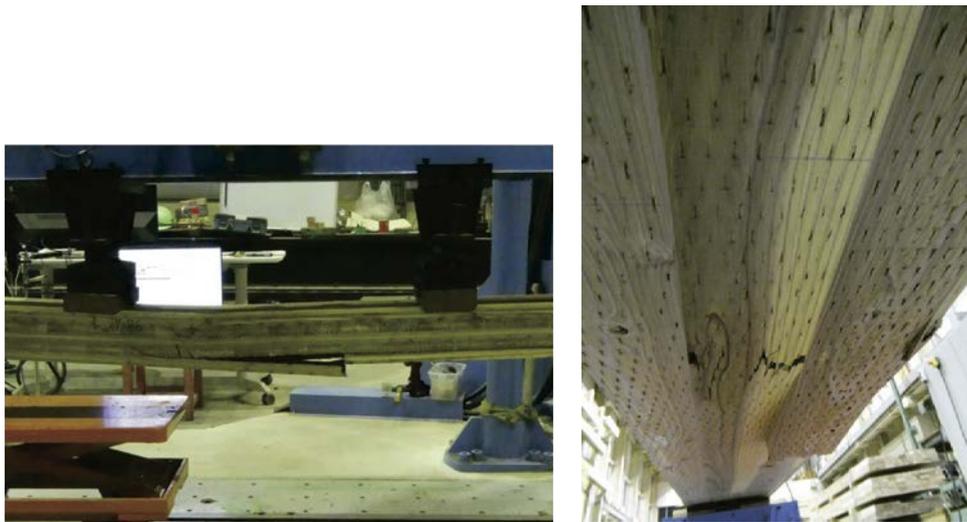


写真 2.3.3.2.1-9~10 インサイジングありの破壊例 (V-B-6)

インサイジングの有無による見かけの曲げヤング係数と曲げ強度の t 検定による比較を図 2.3.3.2.1-2~3 に示す。見かけの曲げヤング係数は平均値に有意差はなかった。また、グラフは示していないが、縦振動法のヤング係数においても平均値に有意差はなかった。一方、曲げ強度は平均値に有意差が認められた。すなわち、インサイジングは見かけの曲げヤング係数には影響が小さいが、曲げ・積層方向強度には影響を及ぼす可能性が考えられる。

Mx60 の基準強度と比較すると、曲げ・積層方向基準強度 (JAS 基準値)  $10.4\text{N/mm}^2$  をすべての試験体で上回った。なお、試験体数は少ないものの正規分布を仮定した信頼水準 75% における 5% 下限値を算出したところ、インサイジングあり、インサイジングなしでそれぞれ  $16.4\text{N/mm}^2$ 、 $12.9\text{N/mm}^2$  であった。

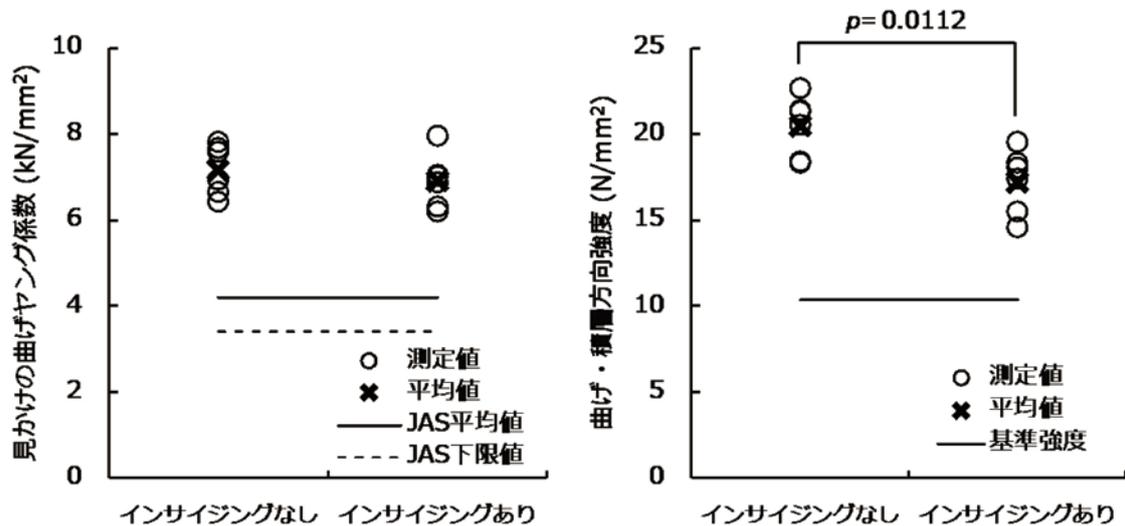


図 2.3.3.2.1-2~3 インサイジングの有無による見かけの曲げヤング係数 (左) と曲げ・積層方向強度 (右) の比較

注：図中の直線はすべて Mx60 によるものである。

前項で得られたラミナの見かけの曲げヤング係数と曲げ強度を用いて、直交集成板の JAS に応じた基準強度の算出で用いられる等価断面法により、CLT の曲げ・積層方向の見かけの曲げヤング係数と曲げ強度を推定した。推定式への入力には実測した平均値を用いた。また、推定曲げ強度には、基準強度で用いられている下限値係数 0.4875 を平均値にするため

の係数 4/3 を乗じた 0.65 (=0.4875×4/3) を算出値に乗じている。入力値を表 2.3.3.2.1-2 に示すとともに、推定値と実測値との比較を表 2.3.3.2.1-3 に示す。インサイジングの有無に関わらず、曲げヤング係数、曲げ強度ともに実測値/推定値は 1 を若干上回る、すなわち実測値の値の方が大きかったが、その差は 15%以内であり概ね推定できていたと考えられる。

表 2.3.3.2.1-2 等価断面法での実測による入力値（平均値）

	外層平行層 曲げヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	内層平行層 曲げヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	直交層 曲げヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	外層 曲げ強度 (N/mm <sup>2</sup> )
CUAZ インサイジングなし	9.56	5.03	0	35.0
CUAZ インサイジングあり	8.06	5.34	0	31.0

表 2.3.3.2.1-3 等価断面法による CLT の推定値と実測値との比較（平均値）

	実測 曲げヤング 係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	推定 曲げヤング 係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	実測/推定 曲げヤング 係数	実測 曲げ強度 (N/mm <sup>2</sup> )	推定 曲げ強度 (N/mm <sup>2</sup> )	実測/推定 曲げ強度
CUAZ インサイジングなし	7.75	7.54	1.03	20.4	17.9	1.14
CUAZ インサイジングあり	7.32	6.36	1.15	17.2	15.9	1.08

### 2.3.3.2.2 曲げ・幅方向（面内曲げ）

#### (1) 試験方法

スパンを材せい h の 18 倍とした 3 等分点 4 点曲げ方式により曲げ・幅方向試験を行った。試験の模式図を図 2.3.3.2.2-1 に示すとともに試験の様子を写真 2.3.3.2.2-1～2 に示す。最大容量が 1000kN の実大木材強度試験機（前川試験機製作所製 SAH-100-SS）により荷重レンジを 1000kN として載荷した。クロスヘッド速度は 12mm/min とした。試験体の側面中央部に変位計（東京測器研究所製 SDP-200E）を設置し試験体の全たわみを測定するとともに、試験体の上部材面圧縮面上に変位計（東京測器研究所製 CDP-10）を取り付けた袴型治具（スパン 1000mm）を載せ、荷重点間における曲げたわみを測定した。試験終了後、全たわみから求めた見かけの曲げヤング係数、荷重点間のたわみから求めた真の曲げヤング係数、比例限度応力、曲げ強度を算出した。また、破壊部近傍から長さが約 30mm の含水率測定用試験体を切り出し、全乾法で含水率を測定した。

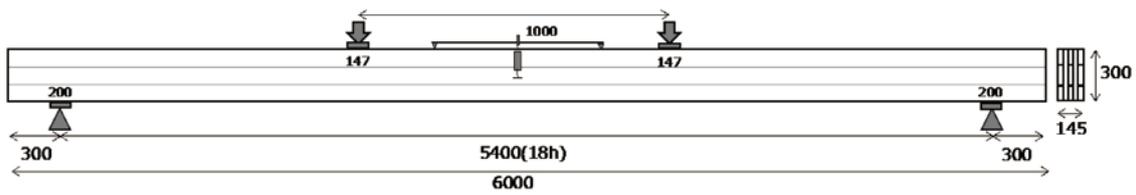


図 2.3.3.2.2-1 曲げ・幅方向試験の模式図 (単位: mm)



写真 2.3.3.2.2-1~2 曲げ・幅方向試験の様子

(2) 結果

曲げ・幅方向試験の結果を表 2.3.3.2.2-1 に示すとともに、各グループの破壊形態の例を写真 2.3.3.2.2-3~10 に示す。いずれのグループも外層フィンガージョイントが起点となり破壊し、その内側の層の幅はぎのない部分に破壊が進展するものが見られた。

表 2.3.3.2.2-1 曲げ・幅方向試験の結果

保存 処理材	インサイ ジング	原板 記号	応力 記号	試験体 番号	密度	含水率	縦振動法の ヤング係数		
					(kg/m <sup>3</sup> )	(%)	(kN/mm <sup>2</sup> )		
CUAZ	なし	IV	BI	1	398	9.47	5.47		
CUAZ	なし	IV	BI	2	394	9.57	5.14		
CUAZ	なし	IV	BI	3	399	9.50	5.49		
平均					397	9.51	5.37		
変動係数(%)					0.638	0.547	3.60		
CUAZ	あり	V	BI	1	428	9.38	5.70		
CUAZ	あり	V	BI	2	414	9.24	5.26		
CUAZ	あり	V	BI	3	416	9.24	5.24		
平均					419	9.29	5.40		
変動係数(%)					1.86	0.855	4.78		

保存 処理材	インサイ ジング	原板 記号	応力 記号	試験体 番号	曲げたわみ振動法	TGH法	TGH法	曲げたわみ振動法	TGH法	TGH法
					ヤング係数 (面内) (kN/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (面内) (kN/mm <sup>2</sup> )	せん断弾性係数 (面内) (kN/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (面外) (kN/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (面外) (kN/mm <sup>2</sup> )	せん断弾性係数 (面外) (kN/mm <sup>2</sup> )
CUAZ	なし	IV	BI	1	5.34	5.39	0.802	8.29	8.33	0.242
CUAZ	なし	IV	BI	2	5.12	5.27	0.881	8.05	8.18	0.266
CUAZ	なし	IV	BI	3	5.20	5.35	0.879	8.11	8.40	0.271
平均					5.22	5.34	0.854	8.15	8.30	0.260
変動係数(%)					2.20	1.18	5.24	1.55	1.36	6.07
CUAZ	あり	V	BI	1	5.23	5.44	0.756	7.84	8.27	0.201
CUAZ	あり	V	BI	2	4.88	5.12	0.809	7.20	7.62	0.229
CUAZ	あり	V	BI	3	4.90	5.21	0.839	7.23	7.71	0.227
平均					5.00	5.26	0.801	7.43	7.87	0.219
変動係数(%)					3.94	3.22	5.24	4.87	4.47	7.04

保存 処理材	インサイ ジング	原板 記号	応力 記号	試験体 番号	見かけの	真の	比例限度	曲げ・	破壊箇所
					曲げヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	曲げヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	応力 (N/mm <sup>2</sup> )	幅方向強度 (N/mm <sup>2</sup> )	
CUAZ	なし	IV	BI	1	5.43	6.28	9.11	15.0	FJ
CUAZ	なし	IV	BI	2	5.36	5.52	10.0	16.5	FJ
CUAZ	なし	IV	BI	3	5.20	5.51	12.3	15.3	FJ
平均					5.33	5.77	10.5	15.6	
変動係数(%)					2.15	7.63	15.7	5.16	
CUAZ	あり	V	BI	1	5.38	5.71	7.65	11.6	FJ
CUAZ	あり	V	BI	2	4.86	4.95	7.80	12.4	FJ
CUAZ	あり	V	BI	3	4.81	5.07	8.64	14.2	FJとFJ以外の箇所
平均					5.02	5.24	8.03	12.7	
変動係数(%)					6.24	7.80	6.65	10.5	



写真 2. 3. 3. 2. 2-3~4 インサイジングなしの破壊例 (IV-BI-1)



写真 2. 3. 3. 2. 2-5~6 インサイジングなしの破壊例 (IV-BI-2)



写真 2. 3. 3. 2. 2-7~8 インサイジングありの破壊例 (V-BI-1)

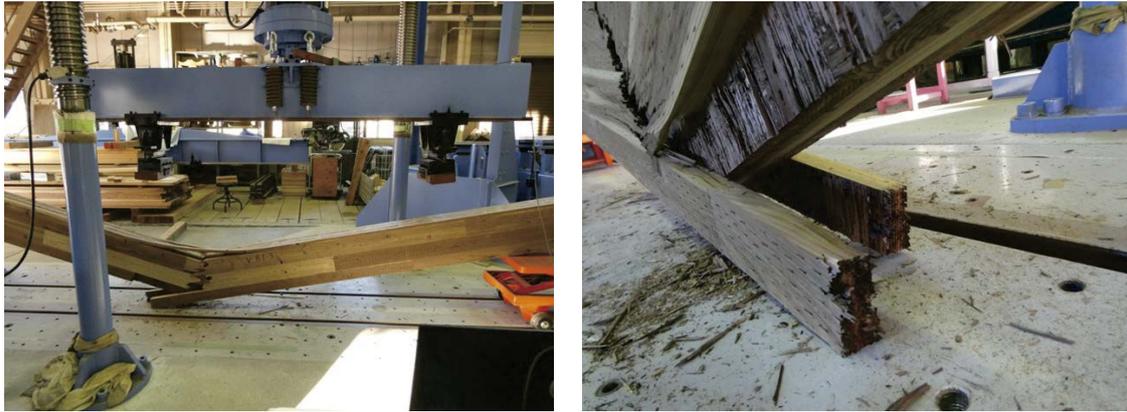


写真 2.3.3.2.2-9~10 インサイジングありの破壊例 (V-BI-3)

インサイジングの有無による見かけの曲げヤング係数と曲げ強度の  $t$  検定による比較を図 2.3.3.2.2-2~3 に示す。見かけの曲げヤング係数は平均値に有意差はなかった。一方、曲げ強度は平均値に有意差が認められた。すなわち、インサイジングは見かけの曲げヤング係数には影響が小さいが、曲げ・積層方向と同様、曲げ・幅方向強度に影響を及ぼす可能性が考えられる。

Mx60 の基準強度と比較すると、曲げ・幅方向基準強度  $8.10\text{N/mm}^2$  をすべての試験体で上回った。なお、試験体数は少ないものの正規分布を仮定した信頼水準 75% における 5% 下限値を算出したところ、インサイジングあり、インサイジングなしでそれぞれ  $13.0\text{N/mm}^2$ 、 $8.49\text{N/mm}^2$  であった。

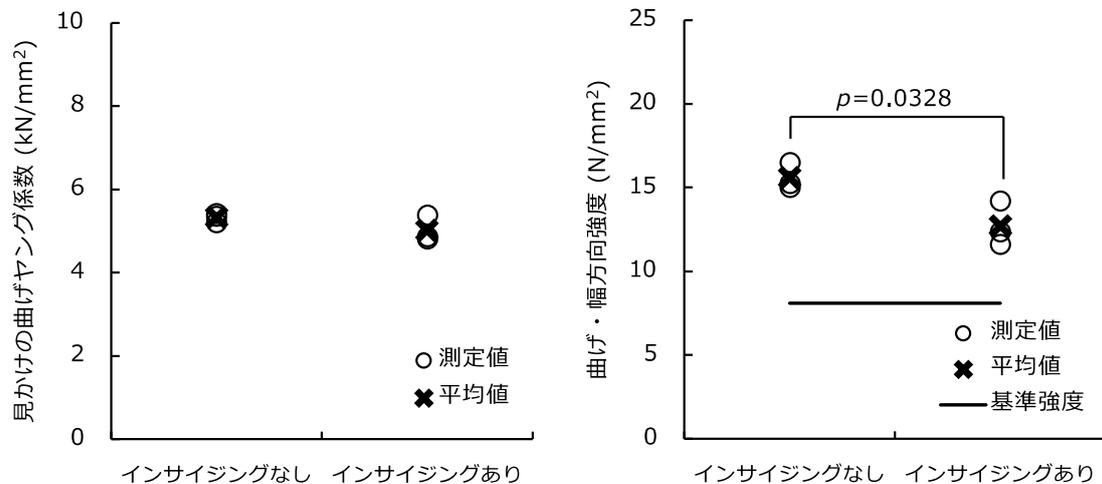


図 2.3.3.2.2-2~3 インサイジングの有無による見かけの曲げヤング係数（左）と曲げ・幅方向強度（右）の比較

注：図中の直線は Mx60 によるものである。

前項で得られたラミナの見かけの曲げヤング係数を用いて、CLT の曲げ・幅方向の見かけの曲げヤング係数を推定した。ただし、ラミナの見かけの曲げヤング係数はフラットワイズで測定したものであるのに対し、CLT の曲げ・幅方向におけるラミナはエッジワイズ方向の曲げとなる点は注意を要する。推定式への入力には実測した平均値を用いた。入力値を表 2.3.3.2.1-2 に示す。見かけの曲げヤング係数の推定値は、各層の平均値とした。例えば CUAZ インサイジングなしであれば、(外層平行層+内層直交層+内層平行層+内層直交層+外層平行層) / 5、すなわち  $(9.56+0+5.03+0+9.56) / 5 = 4.83$  とした。推定値と実測値との比較を表

2.3.3.2.1-3に示す。インサイジングの有無に関わらず、実測値の方が大きかったが、その差はインサイジングなしで10%、インサイジングありで17%となり概ね推定できていたと考えられる。

表 2.3.3.2.2-2 等価断面法での実測による入力値（平均値）

	外層平行層 曲げヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	内層平行層 曲げヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	直交層 曲げヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
CUAZ インサイジングなし	9.56	5.03	0
CUAZ インサイジングあり	8.06	5.34	0

表 2.3.3.2.2-3 等価断面法による CLT の推定値と実測値との比較（平均値）

	実測 曲げヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	推定 曲げヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	実測/推定 曲げヤング係数
CUAZ インサイジングなし	5.33	4.83	1.10
CUAZ インサイジングあり	5.02	4.29	1.17

### 2.3.3.2.3 圧縮

#### (1) 試験方法

試験体長さを断面短辺の6倍とした短柱圧縮試験を行った。試験の模式図を図2.3.3.2.3-1に示すとともに試験の様子を写真2.3.3.2.3-1~2に示す。最大容量が3000kNの圧縮試験機（前川試験機製作所製 A-300-B4）により荷重レンジを1500kNとして、球座を有する加力ヘッドにより载荷した。最大荷重に達するまでの時間が約5分になるように荷重速度を調整した。試験体の長さ方向における相対する2材面の中央部に、標点間距離を長さの1/2（435mm）とした、変位計（東京測器研究所製 CDP-10）を取り付けた治具を設置して縮みを測定した。2材面の縮みの平均値を試験体の縮みとした。試験終了後、圧縮ヤング係数、比例限度応力および圧縮強度を算出した。また、破壊部近傍から長さが約30mmの含水率測定用試験体を切り出し、全乾法で含水率を測定した。

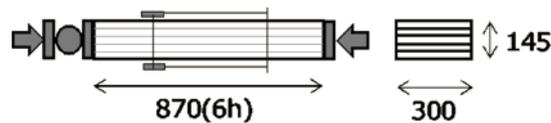


図 2.3.3.2.3-1 圧縮試験の模式図（単位：mm）

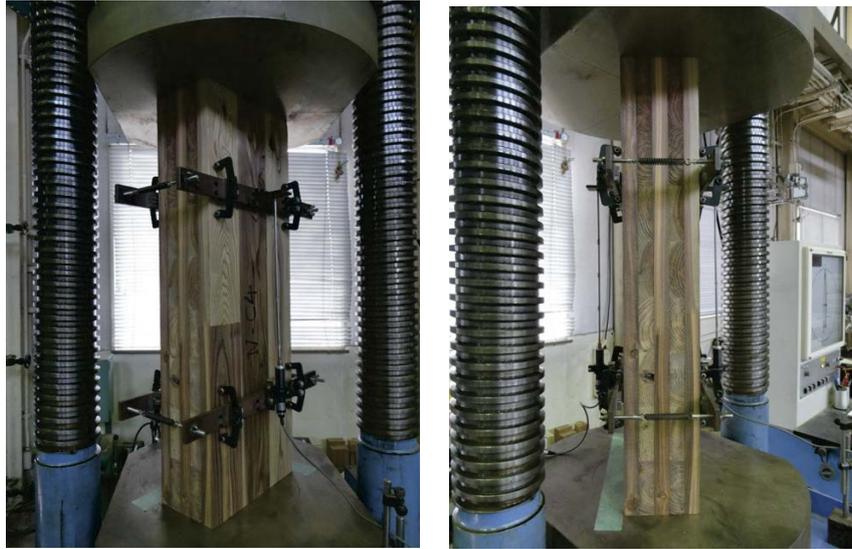


写真 2.3.3.2.3-1~2 圧縮試験の様子

(2) 結果

圧縮試験の結果を表 2.3.3.2.3-1 に示すとともに、各グループの破壊形態の例を写真 2.3.3.2.3-3~12 に示す。破壊はいずれの試験体もフィンガージョイント部が主であり、一部で節部分で破壊していた。また、外層のラミナのはがれも多く認められた。

表 2.3.3.2.3-1 圧縮試験の結果

保存処理材	インサイ ジング	セット 番号	応力 記号	試験体 番号	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	含水率 (%)	縦振動法の ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	圧縮 ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	比例限度 応力 (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
CUAZ	なし	IV	C	1	406	9.70	5.82	5.75	17.2	25.4
CUAZ	なし	IV	C	2	412	9.69	5.67	5.84	20.2	25.9
CUAZ	なし	IV	C	3	398	9.94	5.34	5.36	16.6	23.8
CUAZ	なし	IV	C	4	412	9.59	4.95	5.08	15.8	23.1
CUAZ	なし	IV	C	5	408	9.90	5.57	5.59	18.0	25.3
CUAZ	なし	IV	C	6	392	9.71	5.58	5.49	18.1	23.7
平均					405	9.75	5.49	5.52	17.7	24.5
変動係数(%)					2.01	1.39	5.61	4.96	8.55	4.67
CUAZ	あり	V	C	1	418	9.94	5.31	5.24	16.3	22.5
CUAZ	あり	V	C	2	424	10.2	5.06	4.80	15.2	22.4
CUAZ	あり	V	C	3	424	9.70	5.62	5.26	15.1	23.3
CUAZ	あり	V	C	4	422	9.84	5.32	5.25	15.1	23.2
CUAZ	あり	V	C	5	421	9.91	5.39	5.26	16.3	24.4
CUAZ	あり	V	C	6	432	9.98	5.93	5.64	15.8	24.0
平均					424	9.92	5.44	5.24	15.6	23.3
変動係数(%)					1.13	1.62	5.49	5.11	3.77	3.40



写真 2.3.3.2.3-3~4 インサイジングなしの破壊例 (IV-C-2)



写真 2.3.3.2.3-5~6 インサイジングなしの破壊例 (IV-C-6)

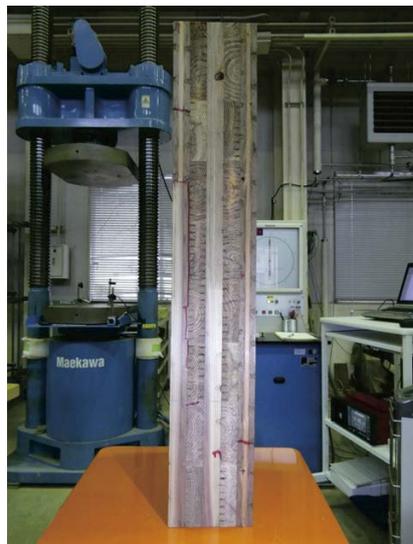


写真 2.3.3.2.3-7~8 インサイジングありの破壊例 (V-C-2)



写真 2.3.3.2.3-9~10 インサイジングありの破壊例 (V-C-5)

インサイジングの有無による見かけの圧縮ヤング係数と圧縮強度の t 検定による比較を図 2.3.3.2.3-2~3 に示す。圧縮ヤング係数と圧縮強度ともに平均値に有意差はなかった。すなわち、インサイジングは圧縮ヤング係数と圧縮強度には影響が小さい可能性が考えられる。

Mx60 の基準強度と比較すると、圧縮基準強度  $8.10\text{N/mm}^2$  に対しては、すべての試験体で大きく上回った。なお、試験体数は少ないものの正規分布を仮定した信頼水準 75%における 5% 下限値を算出したところ、インサイジングあり、インサイジングなしでそれぞれ  $21.9\text{N/mm}^2$ 、 $21.5\text{N/mm}^2$  であった。

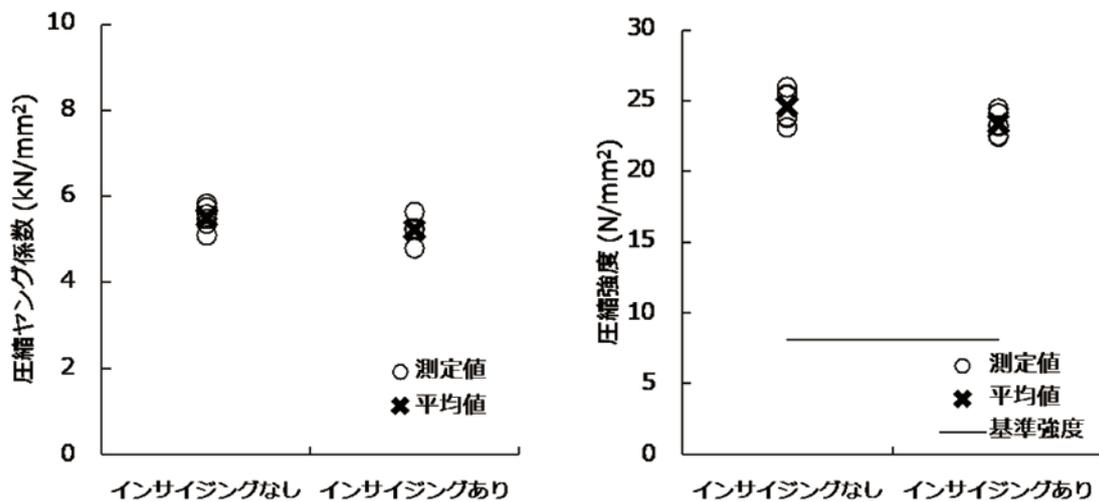


図 2.3.3.2.3-2~3 インサイジングの有無による圧縮ヤング係数 (左) と圧縮強度 (右) の比較

注：図中の直線は Mx60 によるものである。

前項で得られたラミナの縦振動法によるヤング係数と縦圧縮強度を用いて、直交集成板の JAS に応じた基準強度の算出で用いられる等価断面法により、CLT の圧縮強度を推定した。推定式への入力には実測した平均値を用いた。ただし、縦圧縮試験体では縦振動法のヤ

ング係数は測定していないため、ここでのヤング係数には縦引張試験における縦振動法のヤング係数を用いた。入力値を表 2.3.3.2.3-2 に示すとともに、推定値と実測値との比較を表 2.3.3.2.3-3 に示す。インサイジングの有無に関わらず、実測値の方が大きかったが、その差はインサイジングなしで 7%、インサイジングありで 17% となり概ね推定できていたと考えられる。

表 2.3.3.2.3-2 等価断面法での実測による入力値（平均値）

	外層平行層 縦振動法のヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	内層平行層 縦振動法のヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	直交層 ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	外層 縦圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
CUAZ インサイジングなし	10.1	5.45	0	43.0
CUAZ インサイジングあり	10.2	6.83	0	39.2

注：縦振動法のヤング係数の値は縦引張試験のものである。

表 2.3.3.2.3-3 等価断面法による CLT の推定値と実測値との比較（平均値）

	実測 縦圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	推定 縦圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	実測/推定 縦圧縮強度
CUAZ インサイジングなし	23.3	21.8	1.07
CUAZ インサイジングあり	24.5	20.9	1.17

#### 2.3.3.2.4 せん断・積層方向（面外せん断）

##### (1) 試験方法

直交集成板の JAS のせん断試験に従い、スパンを材せい  $h$  の 5 倍とした中央集中荷重方式によりせん断・積層方向試験を行った。試験の模式図を図 2.3.3.2.4-1 に示すとともに試験の様子を写真 2.3.3.2.4-1~2 に示す。なお、せん断破壊の確率を上昇させるため、FJ の数が少ない材面を引張側に配置した。実大木材強度試験機（前川試験機製作所製 SAH-100-SS）を用い、荷重レンジを 1000kN として載荷した。クロスヘッド速度は 4mm/min とした。試験終了後、最大荷重からせん断強度を算出した。最終破壊形態が曲げであった試験体についても最大荷重からせん断強度を求めた。また、破壊部近傍から長さが約 30mm の含水率測定用試験体を切り出し、全乾法で含水率を測定した。

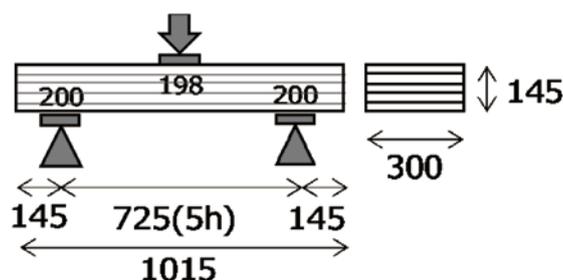


図 2.3.3.2.4-1 せん断・積層方向試験の模式図（単位：mm）



写真 2.3.3.2.4-1～2 セン断・積層方向試験の様子

(2) 結果

せん断・積層方向試験の結果を表 2.3.3.2.4-1 に示すとともに、各グループの破壊形態の例を写真 2.3.3.2.4-3～10 に示す。最大荷重時がせん断破壊であったものは、インサイジングなし、インサイジングありでそれぞれ 5/6 体、4/6 体であった。せん断破壊はインサイジングの有無によらず接着層のずれや直交層の年輪に直交する位置で生じていた。曲げ破壊は FJ が起点となっていた。

表 2.3.3.2.4-1 せん断・積層方向試験の結果

保存 処理材	インサイ ジング	原板 記号	応力 記号	試験体 番号	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	含水率 (%)	縦振動法の ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	せん断・ 積層方向強度 (N/mm <sup>2</sup> )	最終破壊形態
CUAZ	なし	IV	SO	1	415	9.57	5.69	2.51	せん断
CUAZ	なし	IV	SO	2	414	9.89	5.65	2.14	せん断
CUAZ	なし	IV	SO	3	409	10.0	5.57	2.17	せん断
CUAZ	なし	IV	SO	4	395	9.81	5.45	2.29	せん断
CUAZ	なし	IV	SO	5	397	9.69	5.86	2.50	曲げ
CUAZ	なし	IV	SO	6	390	9.60	5.27	2.29	せん断
平均					403	9.76	5.58	2.32	
変動係数(%)					2.62	1.81	3.66	6.79	
CUAZ	あり	V	SO	1	416	10.1	5.46	2.19	せん断
CUAZ	あり	V	SO	2	416	9.71	5.40	1.71	曲げ
CUAZ	あり	V	SO	3	432	9.93	5.65	2.02	曲げ
CUAZ	あり	V	SO	4	430	9.77	5.83	2.30	せん断
CUAZ	あり	V	SO	5	423	9.59	5.62	2.09	せん断
CUAZ	あり	V	SO	6	413	9.24	5.54	1.89	せん断
平均					422	9.73	5.58	2.03	
変動係数(%)					1.95	3.11	2.78	10.4	



写真 2.3.3.2.4-3~4 インサイジングなしのせん断破壊の例 (IV-S0-1)



写真 2.3.3.2.4-5~6 インサイジングなしの曲げ破壊の例 (IV-S0-3)



写真 2.3.3.2.4-7~8 インサイジングありのせん断破壊の例 (V-S0-1)



写真 2.3.3.2.4-9~10 インサイジングありの曲げ破壊の例 (V-S0-2)

インサイジングの有無によるせん断弾性係数(面外)(左)とせん断・積層方向強度(右)の比較を図2.3.3.2.4-2~3に示す。せん断弾性係数(面外)は、本試験体では測定していないため、2.3.3.2.5のせん断・幅方向の結果を用いた。t検定の結果、せん断弾性係数(面外)、せん断・積層方向強度ともに平均値に有意差が認められた。曲げ・積層方向の縦振動法のヤング係数・見かけの曲げヤング係数では有意差が認められなかったことから、インサイジングはヤング係数には大きな影響を及ぼさないが、せん断弾性係数については影響を及ぼす可能性が示された。

試験方法が本試験と同様である直交集成板のJASに示されたせん断試験におけるMx60のせん断・積層方向JAS基準値と比較したところ、すべての試験体でJAS基準値 $1.5\text{N/mm}^2$ を上回った。なお、試験体数は少ないものの正規分布を仮定した信頼水準75%における5%下限値を算出したところ、インサイジングあり、インサイジングなしでそれぞれ $1.95\text{N/mm}^2$ 、 $1.54\text{N/mm}^2$ であった。

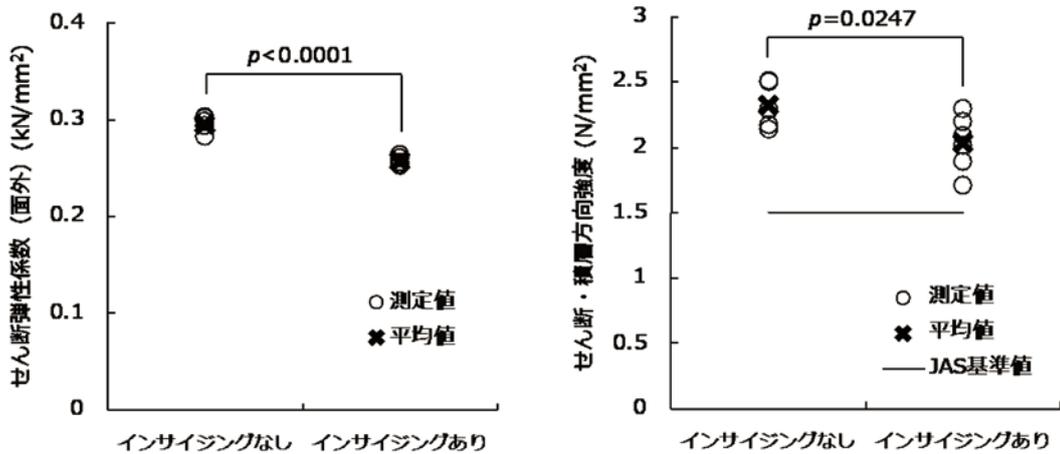


図 2.3.3.2.4-2~3 インサイジングの有無によるせん断弾性係数 (面外) (左) とせん断・積層方向強度 (右) の比較

注：せん断弾性係数 (面外) は 2.3.3.2.5 のせん断・幅方向の結果を用いた。

### 2.3.3.2.5 せん断・幅方向 (面内せん断)

#### (1) 試験方法

日本住宅木材・技術センター発行の「構造用木材の強度試験マニュアル」に示されたせん断試験の C 法、すなわち逆対称 4 点荷重法によりせん断・幅方向試験を行った。支点と隣接する荷重点との距離はいずれも材せい  $h$  の 2 倍とした。試験の模式図を図 2.3.3.2.5-1 に示すとともに試験の様子を写真 2.3.3.2.5-1~2 に示す。最大容量が 1000kN の実大木材強度試験機 (前川試験機製作所製 SAH-100-SS) により載荷した。クロスヘッド速度は一部の試験体を除いて 4mm/min とした。試験終了後、最大荷重からせん断強度を算出した。また、破壊部近傍から長さが約 30mm の含水率測定用試験体を切り出し、全乾法で含水率を測定した。

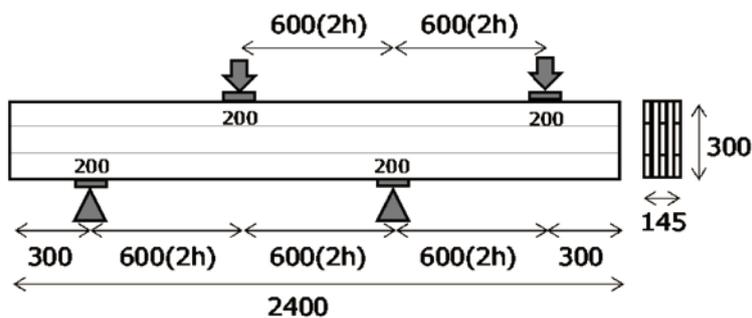


図 2.3.3.2.5-1 せん断・幅方向試験の模式図 (単位 : mm)

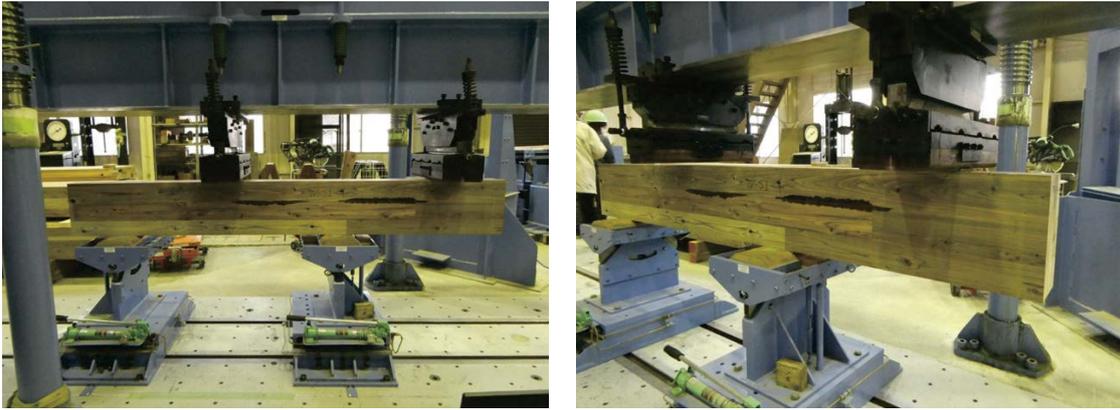


写真 2.3.3.2.5-1~2 セン断・幅方向試験の様子

(2) 結果

せん断・幅方向試験の結果を表 2.3.3.2.5-1 に示すとともに、各グループの破壊形態の例を写真 2.3.3.2.5-3~10 に示す。せん断と曲げの複合破壊を含め、最大荷重時がせん断破壊であったものは、インサイジングなし、インサイジングありでそれぞれ 6/6 体、5/6 体であった。せん断破壊は試験時の前後面においては幅方向のラミナのずれ、上下面の木口面が見える面においては外層と内層とが剥がれるような破壊形態が主であった。

表 2.3.3.2.5-1 せん断・幅方向試験の結果

保存 処理材	インサイ ジング	原板 記号	応力 記号	試験体 番号	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	含水率 (%)	縦振動法の ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	曲げたわみ振動法	TGH法	TGH法
								ヤング係数 (面内) (kN/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (面内) (kN/mm <sup>2</sup> )	せん断弾性係数 (面内) (kN/mm <sup>2</sup> )
CUAZ	なし	IV	SI	1	399	9.49	5.27	4.34	5.12	0.850
CUAZ	なし	IV	SI	2	407	9.72	5.76	4.93	5.85	0.925
CUAZ	なし	IV	SI	3	402	9.67	5.62	4.70	5.60	0.894
CUAZ	なし	IV	SI	4	410	9.60	6.00	4.97	5.91	0.839
CUAZ	なし	IV	SI	5	402	9.82	5.57	4.62	5.44	0.842
CUAZ	なし	IV	SI	6	393	9.47	4.99	4.28	5.06	0.881
平均					402	9.63	5.54	4.64	5.50	0.872
変動係数(%)					1.46	1.40	6.48	6.21	6.54	3.91
CUAZ	あり	V	SI	1	416	9.92	5.56	4.76	5.69	0.762
CUAZ	あり	V	SI	2	412	9.76	5.59	4.69	5.67	0.767
CUAZ	あり	V	SI	3	428	9.81	5.90	4.88	5.85	0.785
CUAZ	あり	V	SI	4	412	9.46	5.42	4.27	5.14	0.776
CUAZ	あり	V	SI	5	419	9.44	5.34	4.54	5.39	0.791
CUAZ	あり	V	SI	6	414	9.56	5.39	4.34	5.17	0.768
平均					417	9.66	5.53	4.58	5.48	0.775
変動係数(%)					1.51	2.04	3.65	5.26	5.44	1.47

保存 処理材	インサイ ジング	原板 記号	応力 記号	試験体 番号	曲げたわみ振動法	TGH法	TGH法	せん断・ 幅方向強度 (N/mm <sup>2</sup> )	最終破壊形態
					ヤング係数 (面外) (kN/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (面外) (kN/mm <sup>2</sup> )	せん断弾性係数 (面外) (kN/mm <sup>2</sup> )		
CUAZ	なし	IV	SI	1	6.76	7.58	0.294	4.10	せん断
CUAZ	なし	IV	SI	2	7.14	8.03	0.303	4.32	せん断
CUAZ	なし	IV	SI	3	6.93	7.88	0.302	4.27	せん断
CUAZ	なし	IV	SI	4	7.94	9.08	0.294	4.58	せん断
CUAZ	なし	IV	SI	5	7.15	7.99	0.283	4.10	せん断+曲げ
CUAZ	なし	IV	SI	6	6.35	7.20	0.298	4.22	せん断+曲げ
平均					7.05	7.96	0.296	4.26	
変動係数(%)					7.49	7.91	2.48	4.13	
CUAZ	あり	V	SI	1	6.87	7.72	0.256	3.69	曲げ
CUAZ	あり	V	SI	2	6.53	7.44	0.255	3.59	せん断+曲げ
CUAZ	あり	V	SI	3	7.22	8.08	0.261	3.72	せん断+曲げ
CUAZ	あり	V	SI	4	6.49	7.24	0.257	3.55	せん断
CUAZ	あり	V	SI	5	6.48	7.20	0.253	3.55	せん断+曲げ
CUAZ	あり	V	SI	6	6.40	7.10	0.264	3.53	せん断+曲げ
平均					6.66	7.46	0.258	3.60	
変動係数(%)					4.73	5.01	1.63	2.18	



写真 2.3.3.2.5-3~4 インサイジングなしのせん断破壊の例 (IV-SI-1)



写真 2.3.3.2.5-5~6 インサイジングなしのせん断+曲げ破壊の例 (IV-SI-5)

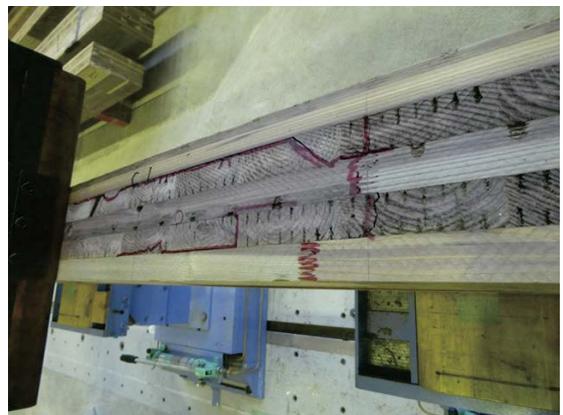


写真 2.3.3.2.5-7~8 インサイジングありのせん断+曲げ破壊の例 (V-SI-2)

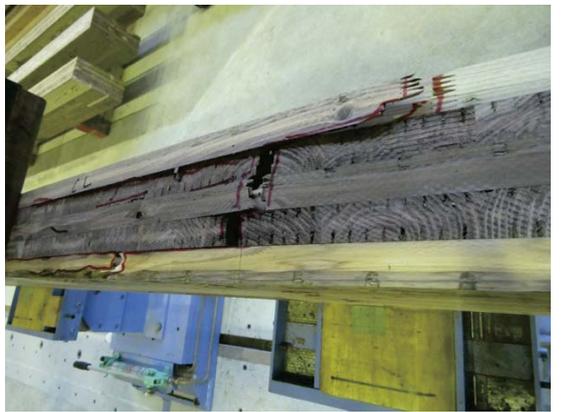


写真 2.3.3.2.5-9~10 インサイジングありの曲げ破壊の例 (V-SI-4)

インサイジングの有無によるせん断弾性係数（面内）（左）とせん断・幅方向強度（右）の比較を図 2.3.3.2.5-2~3 に示す。t 検定の結果、せん断弾性係数（面内）、せん断・幅方向強度ともに平均値に有意差が認められた。曲げ・積層方向の縦振動法のヤング係数・見かけの曲げヤング係数では有意差が認められなかったことから、せん断・積層方向と同様、インサイジングはヤング係数には大きな影響を及ぼさないが、せん断弾性係数については影響を及ぼす可能性が示された。

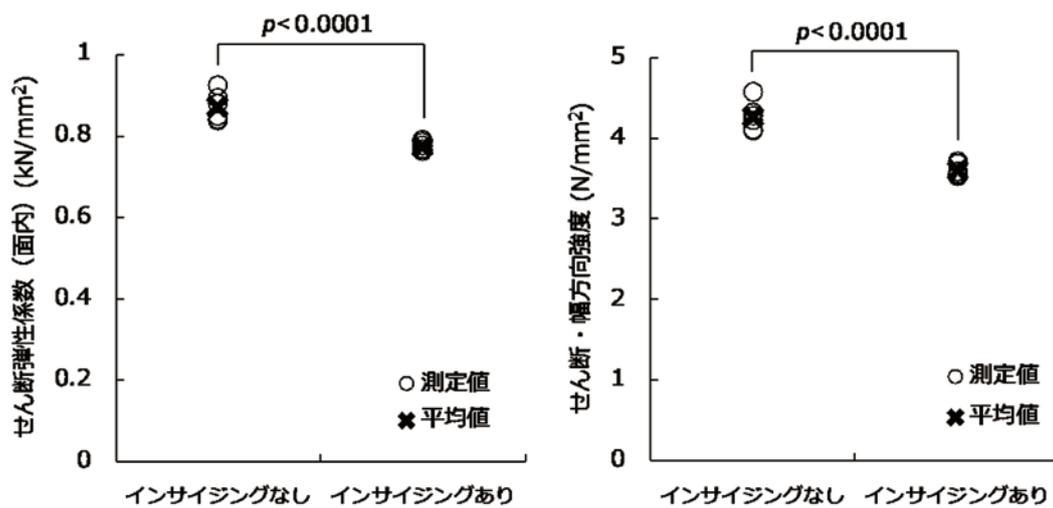


図 2.3.3.2.5-2~3 インサイジングの有無によるせん断弾性係数 (面内) (左) とせん断・幅方向強度 (右) の比較

### 2.3.4 保存処理 CLT の接合性能

#### 2.3.4.1 スプライン接合

##### (1) 試験体

図 2.3.4-1 に試験体、表 2.3.4-1 に試験体一覧を示す。試験体は、CLT パネルを主材および側材（高さ 400 mm、幅 300 mm、厚さ 145 mm）とし、各々をスプラインで接合したものである。なお、スプラインと CLT が面一になるよう、各 CLT パネルにはスプライン取り付け用の切欠き（深さ 28 mm、幅 75 mm）を設けてある。CLT パネルは 5 層 5 プライで、2.3.3 項と同様な性能のラミナで構成した。樹種はスギ、接着剤はレゾルシノールとし、幅はぎ接着はしてない。スプラインは 2 級・特類の針葉樹構造用合板（厚さ 28 mm、長さ 300 mm、幅 149 mm）をタッピンねじ STS6.5・F85（□マーク金物）で留めつける仕様とし、タッピンねじのピッチは 150 mm とした（図 2.3.4-2）。主材と側材の同一面かつ同一高さに打ったタッピンねじ 2 本のことを総じて“1 対”と定義すると、試験体には 4 対（=8 本）のタッピンねじが打たれている。試験体のパラメータは、CLT パネルの保存処理方法であり、先の検討と同様に 2 種類（①CUAZ+インサイジング無し+ラミナ処理、②CUAZ+インサイジング有り+ラミナ処理）である。試験体数は、各パラメータ 6 体×2 仕様の合計 12 体である。

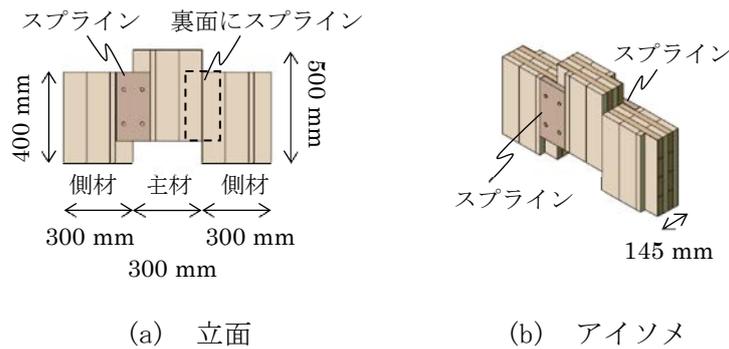


図 2.3.4-1 試験体

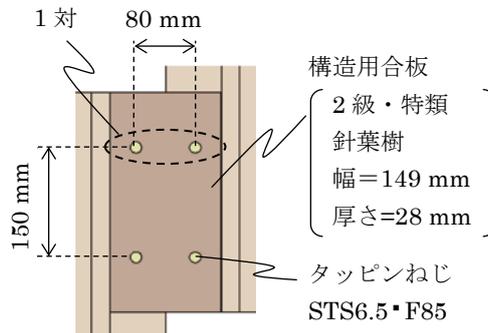


図 2.3.4-2 スプラインの仕様

表 2.3.4-1 試験体一覧

試験体名	CLT				スプライン	密度 kg/m <sup>3</sup>	
	仕様	保存薬剤	注入	インサイジング	仕様	CLT平均	合板平均
CUAZ-sp-1	5層5プライ ラミナ:2.2.3項と同様 樹種:スギ 接着剤:レゾルシノール 幅はぎ接着:無し	CUAZ	ラミナ	無し	構造用合板2級・特類 針葉樹 厚さ=28mm	424	393
CUAZ-sp-2						407	388
CUAZ-sp-3						401	383
CUAZ-sp-4						397	380
CUAZ-sp-5						394	374
CUAZ-sp-6						380	371
CUAZ-in-sp-1				有り	438	393	
CUAZ-in-sp-2					425	387	
CUAZ-in-sp-3					421	383	
CUAZ-in-sp-4					418	379	
CUAZ-in-sp-5					415	375	
CUAZ-in-sp-6					412	371	

(2) 試験方法

セットアップを写真 2.3.4-1 に示す。試験は圧縮試験機(前川試験機製作所製 A-300-B4)で行い、主材上面と側材下面を鉛直方向に加力することで、スプライン接合部にせん断力を与えた。クロスヘッドの上部には球座が設けてあり、試験体側面には開き止めとしてストッパを設けた。

加力方法は単調加力とし、最大荷重  $P_{max}$  到達後、 $0.8P_{max}$  に荷重低下するまで行った。計測項目は、試験体にかかる荷重  $P$ 、主材に対する側材の相対鉛直変位 ( $d_1 \sim d_4$ )、主材に対する合板の相対鉛直変位 ( $d_5, d_6$ ) である (図 2.3.4-3)。



(a) 正面からの視点

(b) 斜めからの視点

写真 2.3.4-1 セットアップ

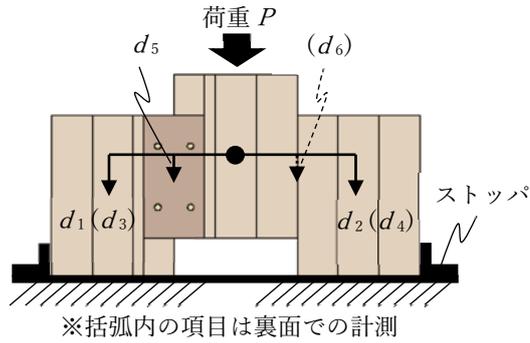


図 2.3.4-3 計測項目

(3) 結果

図 2.3.4-4 と図 2.3.4-5 に各試験体のタッピンねじ 1 対当たりのせん断力  $Q$ —相対変位  $\delta$  関係と各仕様における完全弾塑性モデルの平均値、写真 2.3.4-2～写真 2.3.4-9 に主な破壊性状、表 2.3.4-2 と表 2.3.4-3 に特性値を示す。なお、タッピンねじ 1 対当たりのせん断力  $Q$  は荷重計測値  $P$  を 1/4 倍した値とし、相対変位  $\delta$  は  $d_1 \sim d_4$  の平均値としている。

$Q$ — $\delta$  関係は、いずれの仕様も 3 kN/対程度まで線形に近い挙動を示し、その後、直線的な 2 次勾配に移行し、最大耐力を迎えた。破壊性状は、いずれの仕様も、タッピンねじ頭部の傾きと、合板へのめり込み、CLT からの引き抜け、タッピンねじの折損、パンチングであった。

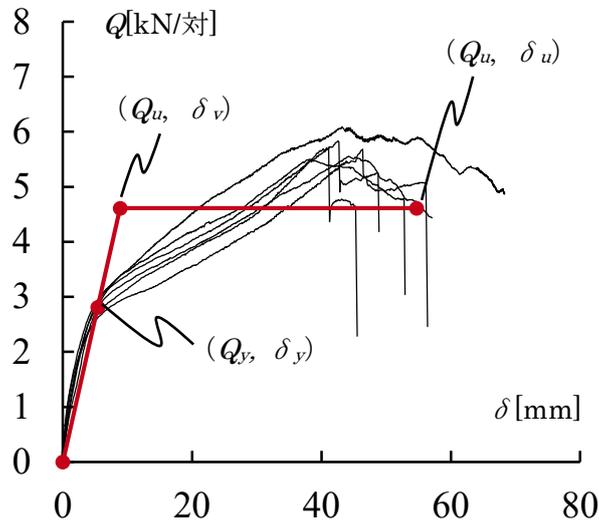


図 2.3.4-4 CUAZ-sp の  $Q$ — $\delta$  関係



写真 2.3.4-2 タッピングねじ頭部の傾きと合板へのめり込み



写真 2.3.4-3 タッピングねじの引き抜けとパンチング



写真 2.3.4-4 タッピングねじの曲げ変形



写真 2.3.4-5 CLT の損傷

表 2.3.4-2 CUAZ-sp の特性値

	$Q_m$ [kN/対]	$2/3Q_m$ [kN/対]	$Q_y$ [kN/対]	$Q_u$ [kN/対]	$\delta_m$ [mm]	$\delta_y$ [mm]	$\delta_v$ [mm]	$\delta_u$ [mm]	$K$ [kN/対/mm]	$\mu = \delta_u / \delta_v$ [-]	$(2\mu \cdot 1)^{0.5}$ [-]
CUAZ-sp-1	6.09	4.06	2.99	5.25	43.2	6.17	10.8	68.3	0.485	6.31	0.293
CUAZ-sp-2	5.72	3.81	2.66	4.31	41.1	5.18	8.42	45.3	0.513	5.38	0.320
CUAZ-sp-3	5.50	3.67	2.90	4.66	38.2	5.15	8.27	52.8	0.564	6.38	0.292
CUAZ-sp-4	5.84	3.89	2.92	4.58	42.6	5.44	8.52	48.8	0.537	5.72	0.309
CUAZ-sp-5	5.69	3.79	2.58	4.33	46.4	5.18	8.69	56.1	0.499	6.46	0.290
CUAZ-sp-6	5.55	3.70	2.80	4.53	44.2	5.24	8.48	57.0	0.534	6.72	0.283
平均	5.73	3.82	2.81	4.61	42.6	5.39	8.87	54.7	0.522	6.16	0.298
標準偏差	0.213	0.142	0.160	0.342	2.79	0.393	0.971	8.01	0.0287	0.507	0.0139
変動係数	0.0372	0.0372	0.0571	0.0741							
ばらつき係数	0.913	0.913	0.867	0.827							
5%下限値	5.23	3.49	2.43	3.81							
短期基準耐力 $Q_0$ [kN/対]	2.43										

$Q_m$  : タッピングねじ 1 対あたりの最大荷重、 $Q_y$  : 同降伏耐力、 $Q_u$  : 同終局耐力、  
 $\delta_m$  : 最大荷重時の変位、 $\delta_y$  : 降伏耐力時の変位、 $\delta_v$  : 終局耐力到達時の変位、  
 $\delta_u$  : 終局変位、 $K$  : 初期剛性、 $\mu$  : 塑性率

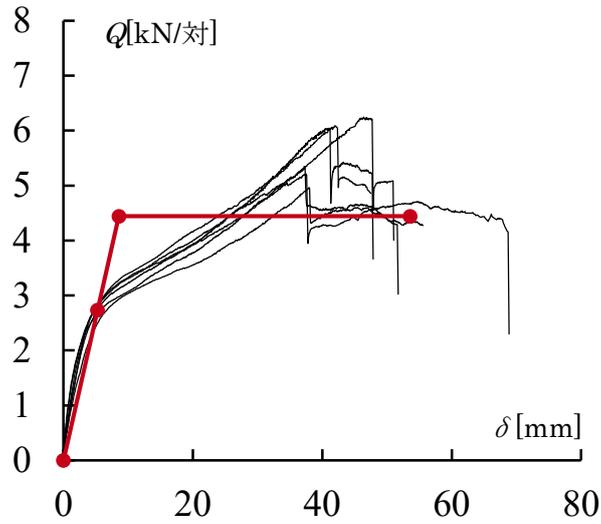


図 2.3.4-5 CUAZ-in-sp の  $Q - \delta$  関係



写真 2.3.4-6 タッピングねじ頭部の傾きと合板へのめり込み



写真 2.3.4-7 タッピングねじの折損

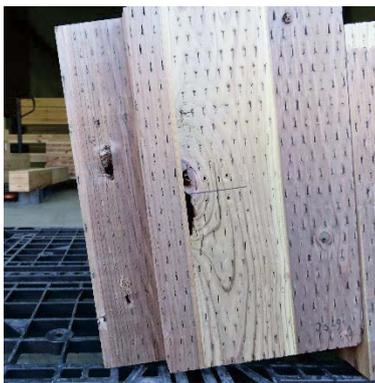


写真 2.3.4-8 CLT の損傷



写真 2.3.4-9 タッピングねじの引き抜け

表 2.3.4-3 CUAZ-in-sp の特性値

	$Q_m$ [kN/対]	$2/3Q_m$ [kN/対]	$Q_y$ [kN/対]	$Q_u$ [kN/対]	$\delta_m$ [mm]	$\delta_y$ [mm]	$\delta_v$ [mm]	$\delta_u$ [mm]	$K$ [kN/対/mm]	$\mu=\delta_u/\delta_v$ [-]	$(2\mu \cdot 1)^{0.5}$ [-]	
CUAZ-in-sp-1	6.04	4.03	2.76	4.61	41.2	5.38	9.0	47.7	0.513	5.30	0.323	
CUAZ-in-sp-2	6.25	4.16	2.88	4.71	46.3	5.56	9.11	50.9	0.517	5.59	0.313	
CUAZ-in-sp-3	6.09	4.06	2.89	4.70	41.9	5.62	9.12	47.3	0.515	5.19	0.327	
CUAZ-in-sp-4	4.96	3.31	2.60	4.06	37.9	5.80	9.07	51.6	0.448	5.69	0.310	
CUAZ-in-sp-5	5.21	3.47	2.73	4.33	37.5	4.78	7.59	68.5	0.571	9.03	0.242	
CUAZ-in-sp-6	5.35	3.56	2.54	4.24	37.3	4.52	7.52	55.4	0.563	7.36	0.270	
平均	5.65	3.77	2.73	4.44	40.4	5.28	8.57	53.6	0.521	6.36	0.298	
標準偏差	0.540	0.360	0.142	0.270	3.54	0.511	0.785	7.89	0.0441	1.53	0.0339	
変動係数	0.0957	0.0957	0.0519	0.0607								
ばらつき係数	0.776	0.776	0.879	0.858								
5%下限値	4.39	2.92	2.40	3.81								
短期基準耐力 $Q_o$ [kN/対]	2.40											

図 2.3.4-6 に各仕様の完全弾塑性モデルの比較、図 2.3.4-7～図 2.3.4-12 および表 2.3.4-4～表 2.3.4-9 に特性値の比較を示す。インサイジングの有無による各特性値の差異はほとんどなく、4%以内にとどまった。

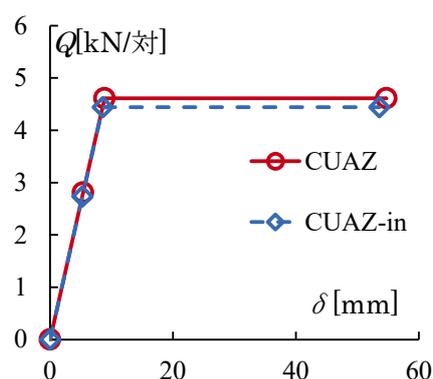


図 2.3.4-6 完全弾塑性モデルの比較

表 2.3.4-4 各仕様の最大荷重  $Q_m$

$Q_m$ [kN/対]	CUAZ	CUAZ-in
1	6.09	6.04
2	5.72	6.25
3	5.50	6.09
4	5.84	4.96
5	5.69	5.21
6	5.55	5.35
平均	5.73	5.65
CUAZの平均に 対する比率	1.00	0.99

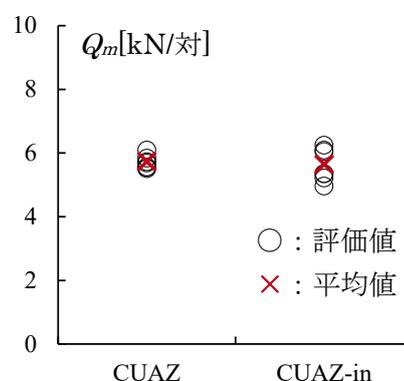


図 2.3.4-7 最大荷重  $Q_m$  の比較

表 2.3.4-5 各仕様の降伏耐力  $Q_y$

$Q_y$ [kN/対]	CUAZ	CUAZ-in
1	2.99	2.76
2	2.66	2.88
3	2.90	2.89
4	2.92	2.60
5	2.58	2.73
6	2.80	2.54
平均	2.81	2.73
CUAZの平均に対する比率	1.00	0.97

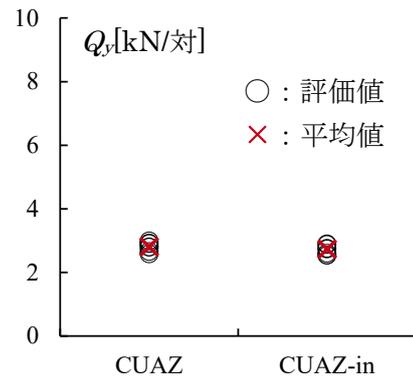


図 2.3.4-8 降伏耐力  $Q_y$ の比較

表 2.3.4-6 各仕様の終局耐力  $Q_u$

$Q_u$ [kN/対]	CUAZ	CUAZ-in
1	5.25	4.61
2	4.31	4.71
3	4.66	4.70
4	4.58	4.06
5	4.33	4.33
6	4.53	4.24
平均	4.61	4.44
CUAZの平均に対する比率	1.00	0.96

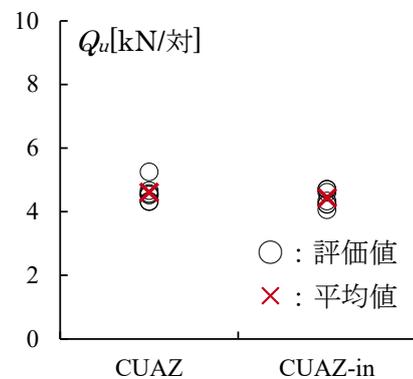


図 2.3.4-9 終局耐力  $Q_u$ の比較

表 2.3.4-7 各仕様の短期基準耐力  $Q_0$

$Q_0$ [kN/対]	CUAZ	CUAZ-in
	2.43	2.40
CUAZの平均に対する比率	1.00	0.99

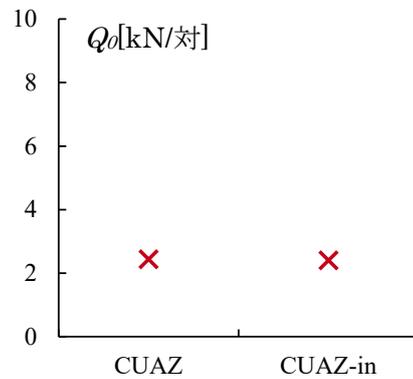


図 2.3.4-10 短期基準耐力  $Q_0$ の比較

表 2.3.4-8 各仕様の初期剛性  $K$

$K$ [kN/対/mm]	CUAZ	CUAZ-in
1	0.485	0.513
2	0.513	0.517
3	0.564	0.515
4	0.537	0.448
5	0.499	0.571
6	0.534	0.563
平均	0.522	0.521
CUAZの平均に対する比率	1.00	1.00

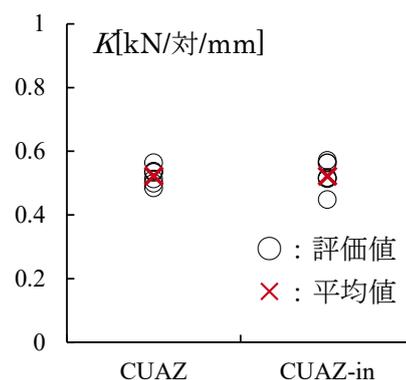


図 2.3.4-11 初期剛性  $K$  の比較

表 2.3.4-9 各仕様の塑性率  $\mu$

$\mu$ [-]	CUAZ	CUAZ-in
1	6.31	5.30
2	5.38	5.59
3	6.38	5.19
4	5.72	5.69
5	6.46	9.03
6	6.72	7.36
平均	6.16	6.36
CUAZの平均に対する比率	1.00	1.03

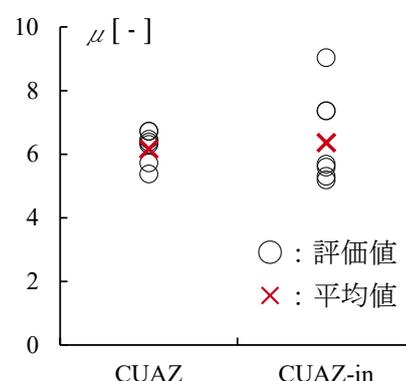


図 2.3.4-12 塑性率  $\mu$  の比較

## 2.3.4.2 引きボルト接合

### (1) 試験体

図 2.3.4-13 に試験体、表 2.3.4-10 に試験体一覧を示す。試験体とした CLT パネルの寸法は、長さ 1,000 mm、幅 230 mm、厚さ 145 mm であり、座金とナットを配置するための貫通孔は、寸法を幅 90 mm、高さ 100 mm として、端距離 400 mm、縁距離 70 mm の位置に設けた。また、引きボルト用の孔は  $\phi 22$  として、CLT パネル断面の中央に配置した。なお、幅はぎ位置とボルト用孔との位置関係は管理していない。CLT パネルは 5 層 5 プライで、2.3.3 項と同様な性能のラミナで構成した。樹種はスギ、接着剤はレゾルシノールとし、幅はぎ接着はしていない。引きボルトには M16 (ABR490)、角座金には W19、丸座金には RW6.0 $\times$ 40 を用いた。試験体のパラメータは、CLT パネルの保存処理方法であり、先の検討と同様に 2 種類 (①CUAZ+インサイジング無し+ラミナ処理、②CUAZ+インサイジング有り+ラミナ処理) である。試験体数は、各パラメータ 6 体 $\times$ 2 仕様の合計 12 体である。なお、本試験体の仕様は、2016 年版 CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル ((公財) 日本住宅・木材技術センター) 内の、「9.3(2)構造計算ルート 1 に対応した接合金物の強度性能データ」に掲載されている仕様と同様である。

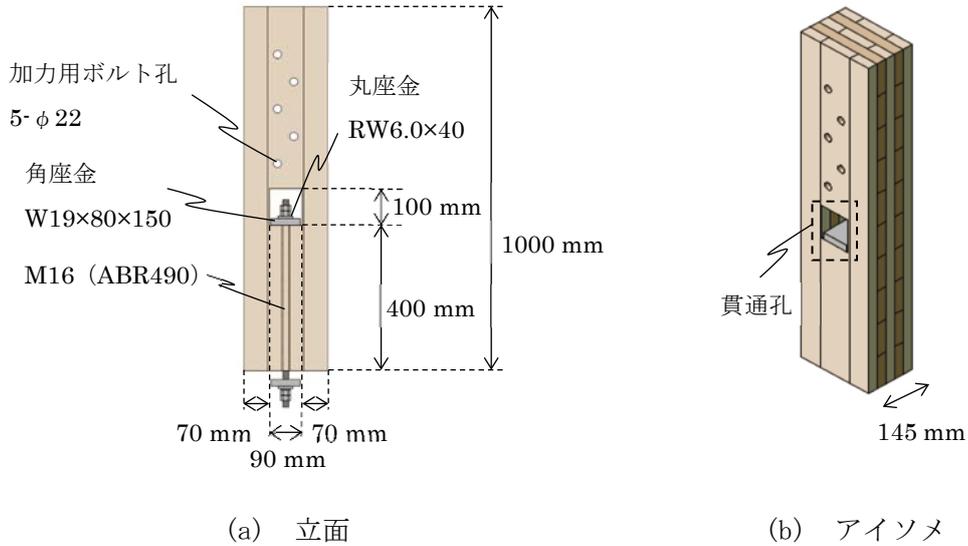


図 2.3.4-13 試験体

表 2.3.4-10 試験体一覧

試験体名	CLT					引きボルト
	仕様	保存薬剤	注入	インサイジング	密度 kg/m <sup>3</sup>	
CUAZ-tb-1	5層5プライ ラミナ: 2.2.3項と同様 樹種: スギ 接着剤: レゾルシノール 幅はぎ接着: 無し	CUAZ	ラミナ	無し	415	M16(ABR490) 角座金: W19 丸座金: RW6.0×40
CUAZ-tb-2					408	
CUAZ-tb-3					402	
CUAZ-tb-4					402	
CUAZ-tb-5					395	
CUAZ-tb-6					392	
CUAZ-in-tb-1				有り	430	
CUAZ-in-tb-2					429	
CUAZ-in-tb-3					425	
CUAZ-in-tb-4					414	
CUAZ-in-tb-5					412	
CUAZ-in-tb-6					409	

(2) 試験方法

セットアップを写真 2.3.4-10 に示す。試験体下部を鉄骨治具に固定した状態で、試験体上部と油圧ジャッキ（理研精機製 DRK5-S15-500B）を鋼板添え板ボルト接合で接続し、油圧ジャッキを縮めることで引きボルト接合部に引張力を与えた。試験体下部と鉄骨治具の固定は、鉄骨治具に引きボルトを通し、角座金 W19、丸座金 RW6.0×40、座金用スプリング SW16 を介して、ダブルナットで締め付けることで行った。加力前のナットの締め付けは、レンチで固く締め付けた後、一度緩め、座金用スプリング SW16 が完全につぶれる程度とした。

加力方法は単調加力とし、最大荷重  $T_{max}$  到達後、 $0.8T_{max}$  に荷重低下するまで行った。計測項目は、試験体にかかる引張力  $T$ 、CLT パネル左右面軸心の貫通孔上部における絶対鉛直変

位 ( $d_1$ ,  $d_2$ )、CLT パネル前後面軸心の貫通孔下部における鉄骨治具との相対鉛直変位 ( $d_4$ ,  $d_7$ )、CLT パネル前後面左右端から 35 mm 位置の貫通孔下部における鉄骨治具との相対鉛直変位 ( $d_3$ ,  $d_5$ ,  $d_6$ ,  $d_8$ )、鉄骨治具の絶対鉛直変位 ( $d_9$ ,  $d_{10}$ ) である (図 2.3.4-14)。



写真 2.3.4-10 セットアップ

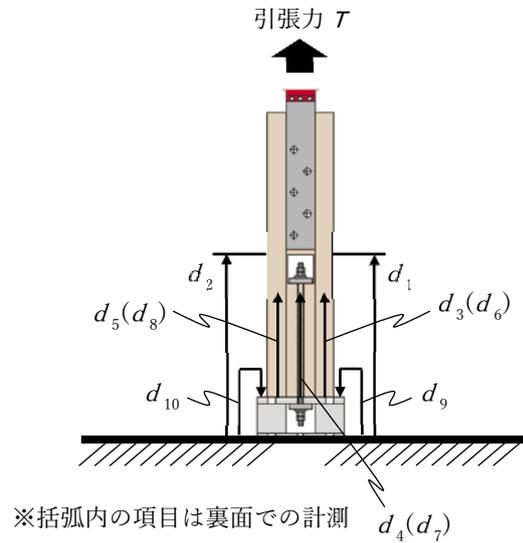


図 2.3.4-14 計測項目

### (3) 結果

図 2.3.4-15 と図 2.3.4-16 に各試験体の引張力  $T$ —鉛直変位  $\delta$  関係と各仕様における完全弾塑性モデルの平均値、写真 2.3.4-11～写真 2.3.4-14 に主な破壊性状、表 2.3.4-11 と表 2.3.4-12 に特性値を示す。なお、相対変位  $\delta$  は  $d_1$  と  $d_2$  の平均値から  $d_9$  と  $d_{10}$  の平均値を減じた値としている。

$T$ — $\delta$  関係は、いずれの仕様も引きボルトの特性が明確に出ており、60 kN 手前で降伏棚が現れ、その後ひずみ硬化が始まり、約 89 kN～約 90 kN で最大耐力を迎えた。破壊性状はいずれの仕様も引きボルトの引張破断であり、CLT パネルには目視で確認できる損傷は生じなかった。

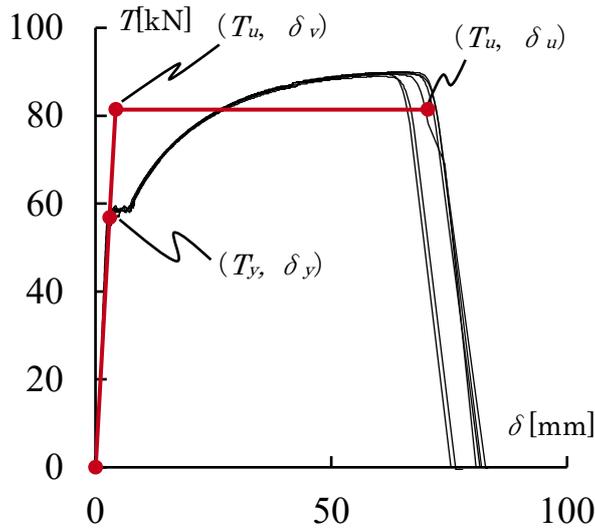


図 2. 3. 4-15 CUAZ-tb の  $T - \delta$  関係

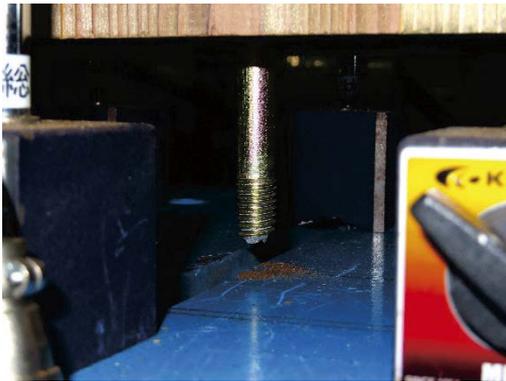


写真 2. 3. 4-11 ボルトの破断  
(試験体下部)



写真 2. 3. 4-12 加力後の貫通孔周辺の様子  
(損傷は見られない)

表 2. 3. 4-11 CUAZ-tb の特性値

	$T_m$ [kN]	$2/3T_m$ [kN]	$T_y$ [kN]	$T_u$ [kN]	$\delta_m$ [mm]	$\delta_y$ [mm]	$\delta_v$ [mm]	$\delta_u$ [mm]	$K$ [kN/mm]	$\mu = \delta_u / \delta_v$ [-]	$(2\mu \cdot 1)^{0.5}$ [-]
CUAZ-tb1	89.5	59.7	57.1	81.9	59.2	3.70	5.30	70.6	15.4	13.3	0.198
CUAZ-tb-2	89.0	59.3	57.0	80.5	57.7	2.94	4.15	67.6	19.4	16.3	0.178
CUAZ-tb-3	89.5	59.7	56.9	81.6	60.4	2.84	4.07	72.8	20.0	17.9	0.170
CUAZ-tb-4	90.0	60.0	56.6	82.0	62.0	3.01	4.36	73.0	18.8	16.8	0.175
CUAZ-tb-5	89.8	59.8	55.7	81.5	58.7	2.41	3.52	72.2	23.2	20.5	0.158
CUAZ-tb-6	89.5	59.7	57.6	81.0	56.6	2.99	4.20	66.7	19.3	15.9	0.180
平均	89.5	59.7	56.8	81.4	59.1	2.98	4.27	70.5	19.4	16.8	0.177
標準偏差	0.332	0.222	0.627	0.559	1.92	0.416	0.581	2.75	2.47	2.37	0.01301
変動係数	0.00371	0.00371	0.0110	0.00687							
ばらつき係数	0.991	0.991	0.974	0.984							
5%下限値	88.8	59.2	55.4	80.1							
短期基準耐力 $T_D$ [kN]	55.4										

$T_m$ : 最大荷重、 $T_y$ : 降伏耐力、 $T_u$ : 終局耐力、 $\delta_m$ : 最大荷重時の変位、 $\delta_y$ : 降伏耐力時の変位、 $\delta_v$ : 終局耐力到達時の変位、 $\delta_u$ : 終局変位、 $K$ : 初期剛性、 $\mu$ : 塑性率

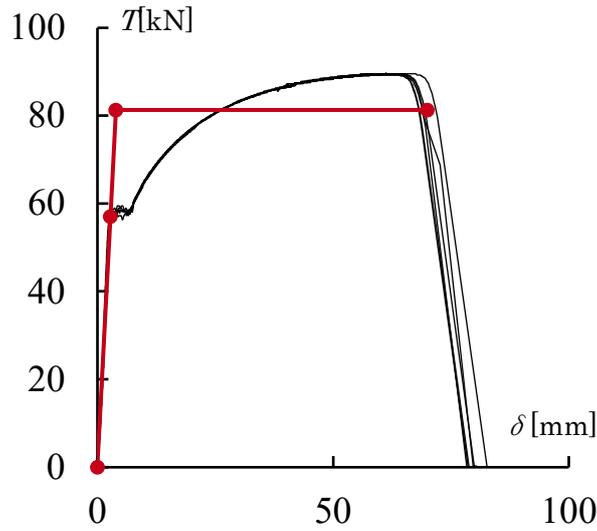


図 2.3.4-16 CUAZ-in-tb の  $T-\delta$  関係

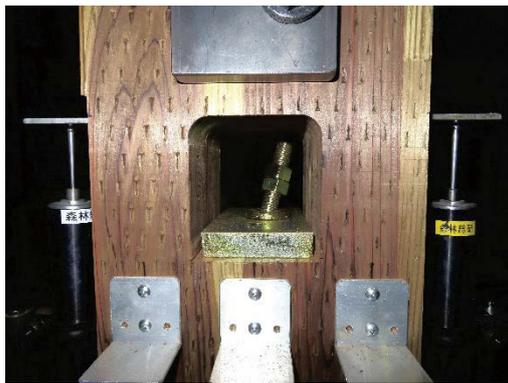


写真 2.3.4-13 ボルトの破断



写真 2.3.4-14 加力後の貫通孔  
(損傷はみられない)

表 2.3.4-12 CUAZ-in-tb の特性値

	$T_m$ [kN]	$2/3T_m$ [kN]	$T_y$ [kN]	$T_u$ [kN]	$\delta_m$ [mm]	$\delta_y$ [mm]	$\delta_v$ [mm]	$\delta_u$ [mm]	$K$ [kN/mm]	$\mu = \delta_u / \delta_v$ [-]	$(2\mu - 1)^{0.5}$ [-]
CUAZ-in-tb1	89.5	59.7	57.5	81.3	58.3	2.87	4.06	69.5	20.0	17.1	0.173
CUAZ-in-tb2	89.3	59.5	57.3	81.1	55.8	2.68	3.79	69.1	21.4	18.2	0.168
CUAZ-in-tb3	89.8	59.8	57.0	81.2	61.2	3.01	4.30	69.2	18.9	16.1	0.179
CUAZ-in-tb4	89.5	59.7	55.9	81.4	60.5	2.42	3.52	72.1	23.1	20.5	0.158
CUAZ-in-tb5	89.3	59.5	56.7	81.0	57.9	2.67	3.81	69.6	21.2	18.2	0.168
CUAZ-in-tb6	89.5	59.7	57.5	81.5	56.6	2.90	4.11	70.3	19.9	17.1	0.173
平均	89.5	59.6	57.0	81.3	58.4	2.76	3.93	70.0	20.8	17.9	0.170
標準偏差	0.188	0.125	0.600	0.189	2.12	0.213	0.277	1.14	1.49	1.51	0.00711
変動係数	0.00210	0.00210	0.0105	0.00232							
ばらつき係数	0.995	0.995	0.975	0.995							
5%下限値	89.0	59.3	55.6	80.8							
短期基準耐力 $T_o$ [kN]	55.6										

図 2.3.4-17 に各仕様の完全弾塑性モデルの比較、図 2.3.4-18～図 2.3.4-23 および表 2.3.4-13～表 2.3.4-18 に特性値の比較を示す。インサイジングの有無による差異はほとんどなく、耐力については1%未満、剛性と塑性率については7%程度の差異であった。

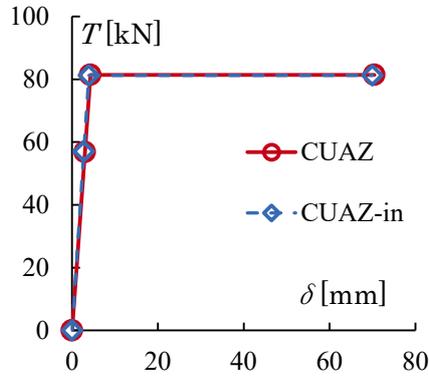


図 2.3.4-17 完全弾塑性モデルの比較

表 2.3.4-13 各仕様の最大荷重  $T_m$

$T_m$ [kN]	CUAZ	CUAZ-in
1	89.5	89.5
2	89.0	89.3
3	89.5	89.8
4	90.0	89.5
5	89.8	89.3
6	89.5	89.5
平均	89.5	89.5
CUAZの平均に対する比率	1.00	1.00

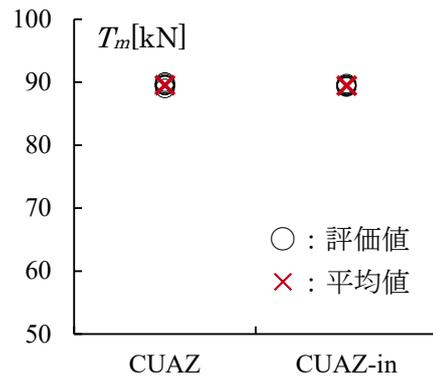


図 2.3.4-18 最大荷重  $T_m$  の比較

表 2.3.4-14 各仕様の降伏耐力  $T_y$

$T_y$ [kN]	CUAZ	CUAZ-in
1	57.1	57.5
2	57.0	57.3
3	56.9	57.0
4	56.6	55.9
5	55.7	56.7
6	57.6	57.5
平均	56.8	57.0
CUAZの平均に対する比率	1.00	1.00

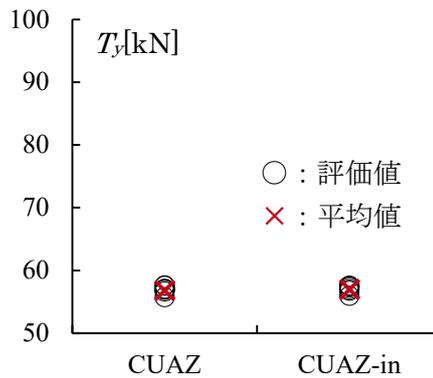


図 2.3.4-19 降伏耐力  $T_y$  の比較

表 2.3.4-15 各仕様の終局耐力  $T_u$

$T_u$ [kN]	CUAZ	CUAZ-in
1	81.9	81.3
2	80.5	81.1
3	81.6	81.2
4	82.0	81.4
5	81.5	81.0
6	81.0	81.5
平均	81.4	81.3
CUAZの平均に対する比率	1.00	1.00

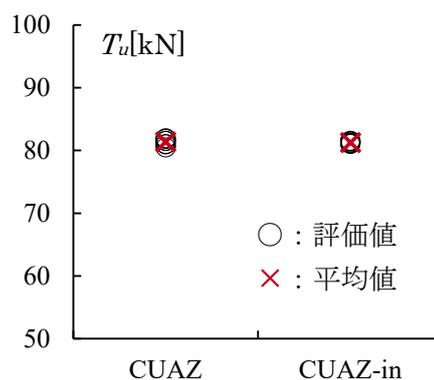


図 2.3.4-20 終局耐力  $T_u$ の比較

表 2.3.4-16 各仕様の短期基準耐力  $T_o$

$T_o$ [kN]	CUAZ	CUAZ-in
	55.4	55.6
CUAZの平均に対する比率	1.00	1.00

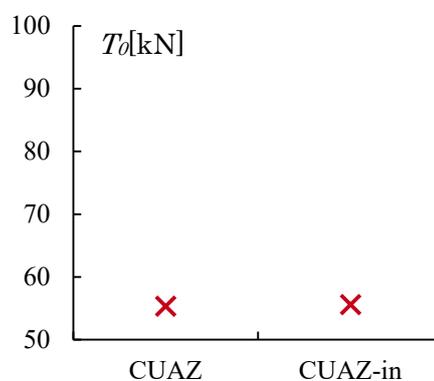


図 2.3.4-21 短期基準耐力  $T_o$ の比較

表 2.3.4-17 各仕様の初期剛性  $K$

$K$ [kN/mm]	CUAZ	CUAZ-in
1	15.4	20.0
2	19.4	21.4
3	20.0	18.9
4	18.8	23.1
5	23.2	21.2
6	19.3	19.9
平均	19.4	20.8
CUAZの平均に対する比率	1.00	1.07

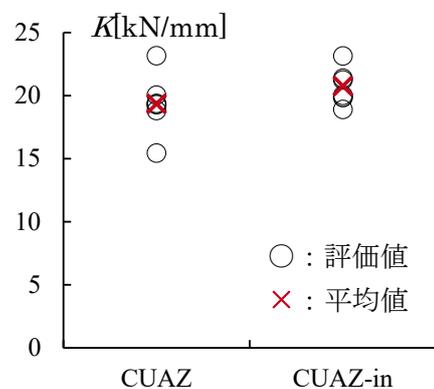


図 2.3.4-22 初期剛性  $K$ の比較

表 2.3.4-18 各仕様の塑性率  $\mu$

$\mu$ [-]	CUAZ	CUAZ-in
1	13.3	17.1
2	16.3	18.2
3	17.9	16.1
4	16.8	20.5
5	20.5	18.2
6	15.9	17.1
平均	16.8	17.9
CUAZの平均に対する比率	1.00	1.07

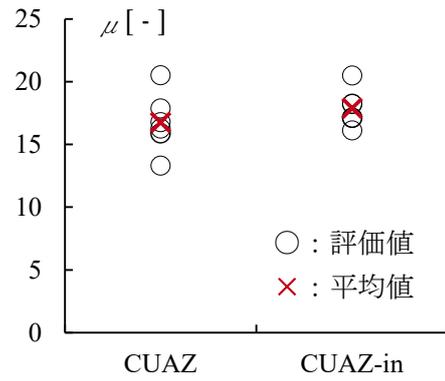


図 2.3.4-23 塑性率  $\mu$  の比較

### 2.3.5 ラミナ処理 CLT の分析

#### 1) 測定項目

日本農林規格（JAS1083 製材など）では、保存処理性能の検査として、浸潤度と吸収量を測定することとしている。

ここでは2.3.2項で保存処理を行った CLT 製品の保存処理の検査として、浸潤度と吸収量の測定を行った結果を報告する。

#### 2) 試験体と分析用試料の調製

ラミナ処理を行った CLT のインサイジングあり・なし、それぞれから L400×w300×t150mm の大きさにカットした材料を採取し試験体とした。

図 2.3.5-1 の赤色箇所のように、表層ラミナの繊維方向に対して、平行および直交になるように厚さ 10mm の試験片を採取し、分析用試料とした。

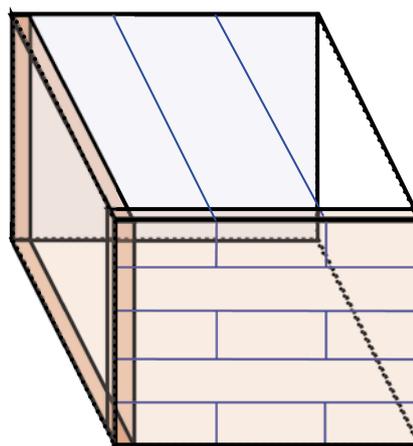


図 2.3.5-1 分析用試料の採取

#### 3) 呈色方法

日本農林規格 JAS1083（製材）の呈色手順中の、銅・アズール化合物系木材保存剤（CUAZ）で処理されたものに従い、呈色指示薬（クロムアズロール S 0.5 g 及び酢酸ナトリウム 5 g を水 500 mL に溶解したもの）を噴霧し、浸潤部を濃緑色に呈色させた。呈色による浸潤状況写真を表 2.3.5-1 に示す。

インサイジングの実施、未実施で色相が変わってしまったが、この原因は不明である。

#### 4) 浸潤度の測定

浸潤度の測定は対象を木口面とし、Adobe 社の Photoshop を用いて測定対象面積と浸潤部面積を求めた。浸潤部面積を測定対象面積で除した百分率の値を浸潤度とした。

浸潤度の測定基準（範囲）は、「防腐・防蟻直交集成材の AQ」、「集成材の JAS」、「LVL の JAS」の 3 つの方法でそれぞれ行った。

測定の結果を、表 2.3.5-2 に示す。

表 2.3.5-1 保存処理 CLT の薬剤呈色写真（薬剤：CUAZ）

No.	インサージング <sup>※</sup>	表層ラミナの繊維方向に対する向き	
		直交	平行
1	なし		
2	なし		
3	あり		
4	あり		

※ 濃緑～青色が、薬剤浸潤部。

表 2.3.5-2 保存処理 CLT の浸潤度測定結果

No.		CLT AQ 基準(%)		集成材浸潤度 (%)		LVL 浸潤度 (%)	
		全断面	表層 10mm 部分	辺材	表層 10mm 部分の心材	全断面	表層 10mm 部分
1	直交	81	85	96	80	81	85
	平行						
2	直交	81	99	98	97	81	99
	平行						
3	直交	98	100	100	100	98	100
	平行						
4	直交	98	100	100	100	98	100
	平行						

5) 吸収量の測定

集成材の日本農林規格を参考にして、図 2.3.5-2 の塗りつぶし箇所を切り取り、吸収量を分析した。

外層ラミナの表層 10mm 範囲を一部切り取ったもの（赤色部）と、内層ラミナの表層 10mm 範囲を切り取ったもの（黄色部）に分けて分析を行った。

なお分析は、CUAZ の有効成分の内、銅のみを測定して分析結果とした。測定結果を表 2.3.5-3 に示す。



図 2.3.5-2 吸収量のサンプリング部位

表 2.3.5-3 保存処理 CLT の吸収量分析結果

No.	インサイジング	採取部位	CuO 吸収量 (kg/m <sup>3</sup> )
1	なし	外層	1.2
		内層	1.1
2	なし	外層	1.0
		内層	1.4
3	あり	外層	1.8
		内層	1.6
4	あり	外層	1.7
		内層	1.7

6) 考察

今回は保存処理の基準がある、以下の木質材料の基準に照らし合わせて浸潤度を測定した。

- ① 「防腐・防蟻直交集成材の AQ 規格」 (公財)日本住宅材木材技術センター
- ② 「集成材の日本農林規格」 農林水産省告示第475号
- ③ 「JAS0701 単板積層材」

その結果、いずれの基準においても浸潤度の基準を満足する結果となった。

また吸収量は、JAS1083 (製材) 中の性能区分 K3 の基準にあたる  $1.0 \text{ kg/m}^3$  の基準を満足する結果を得た。

### 2.3.6 ラミナ処理 CLT 試験のまとめ

今年度は、これまでラミナ処理 CLT の製造試験に関するデータがない CUAZ を用いてインサイジング処理を施したラミナと施していないラミナとの間で強度性能、接合性能、保存処理の品質について比較を行った。

昨年度は水溶性薬剤で保存処理したラミナを用いる場合、再乾燥スケジュール、ラミナ含水率の管理に用いる含水率計への影響、フィンガージョイント圧入工程の圧縮圧力、保存処理を施すラミナ厚さと最終仕上げラミナ厚さの関係、積層接着にあたっての接着剤の塗布量等について、製造工場と調整する必要があったが、今年度は昨年の実績に基づいて製造した結果特段の調整事項は生じなかった。

保存処理 CLT の強度性能に関して、曲げ・積層方向、曲げ・幅方向、圧縮、せん断・積層方向、せん断・幅方向及びラミナの曲げ、ラミナの引張における弾性係数および強度、また、接合性能に関しては、スプライン接合、引きボルト接合の剛性および耐力の評価項目毎に無処理とインサイジング処理とで比較を行った。試験結果を表 2.3.6-1 に示す。

曲げやせん断において積層方向・幅方向の荷重方向に関わらず強度低下がみられたが、想定される強度等級 (Mx60-5-5) に与えられる基準強度は満足した。また、処理ラミナの強度性能から製品強度を告示式で推定できることが明らかになったことから、ラミナの品質管理を確実にを行うことで、製品の強度性能が担保できると考えられた。スプライン接合、引きボルト接合についてもインサイジング処理の影響は認められず通常 CLT と同様の設計が可能であった。

今年度製造に用いた外層用ラミナの曲げヤング係数は、表 2.1.2-1 に示すように等級区分時のグレーディングマシンで測定した値で平均 10.3kN/mm<sup>2</sup>、最小 8 kN/mm<sup>2</sup>であったことから、M90 にも相当している。しかしながら、注入処理ラミナの曲げ試験の測定結果では表 2.3.3.1.2-1 に示すようにインサイジングなしで平均 9.56kN/mm<sup>2</sup>、最小 7.35 kN/mm<sup>2</sup>、また、インサイジングありで平均 8.06kN/mm<sup>2</sup>、最小 5.85 kN/mm<sup>2</sup>と前者ではぎりぎり M90 相当、後者は明らかに M60 相当となっている。今年度事業ではこれらのデータを取得することを目的として、注入処理ラミナの再グレーディングは行わなかったが、実際の工程では必要不可欠であることが示された。なお、昨年収集した他処理薬剤との比較については、今年度ラミナの曲げヤング係数の分布が図 2.1.2-2 に示したように昨年度用いたラミナと大きく異なっていたことから、今後データを十分解析した上で結論を得たい。

浸潤度、吸収量については、集成材 JAS の測定方法、基準値を参照して行ったが、基準を満たすことが確認できた。

表 2.3.6-1 インサイジング処理の有無による材料・接合性能比較

	CUAZ (弾性係数/強度)	基準強度比較 <sup>注1</sup> (Mx60-5-5)
曲げ・積層方向	-/※	○
曲げ・幅方向	-/※	○
圧縮	-/-	○
せん断・積層方向	※/※	○
せん断・幅方向	※/※	○
ラミナ・曲げ	-/※	○
ラミナ・引張	-/※	○
接合・スプライン	-/-	
接合・引きボルト	-/-	

注 1 ○：基準値を上回った場合。比較した基準値：製品強度はスギの機械区分ラミナ使用時、ラミナは CLT/JAS 規格の基準値

## 2.4 まとめ

直交集成板の日本農林規格で CLT に求められる各種品質データ及び JAS 製品に与えられる CLT 各種基準強度について、保存処理 CLT を対象にデータ収集を行った。

昨年度は、保存薬剤の浸潤度が「製品の中央において断面積の 80%以上になること」を目標として、乾式での「製品処理」と「ラミナ処理」による方法で保存処理 CLT を試作し、その製造条件と品質、強度性能及び接合性能との関連について検討した。

そこで明らかになった問題点に取り組むため、今年度は「製品処理」については油溶性に加えて水溶性薬剤も対象として、薬剤の加圧注入条件と浸潤度並びに寸法精度、含水率等の品質との関係を明らかにすることを目的とした。また、「ラミナ処理」については、CUAZ の加圧注入処理ラミナの使用及びインサイジング処理の有無が CLT の強度及び接合性能に与える影響を明らかにすることを目的とした。

### ・製品処理

乾式処理においては、今年度実施した新たな注入条件に関して JAS 規格の測定法による全乾含水率、寸法精度吸収量に関して問題ないことが確認された。

湿式処理においては、その仕上がり含水率や寸法精度を一定水準にすることができる注入条件を提示することができた。しかし、含水率分布のムラ、表層ラミナの木口が見える面での寸法精度の低下など課題も明らかになった。さらに、浸潤度については、木口から 50mm の断面で評価する前提で「辺材部の浸潤度」と「材面から深さ 10mm 部分の心材部の浸潤度」を評価軸とする際の基礎的データを得た。

今後の課題としては、3層3プライ以外の層構成への適用性、スギ以外の樹種への適用性、適正な乾燥条件の検討、接着や強度性能への影響などを明らかにする必要がある。

### ・ラミナ処理

今年度は昨年の実績に基づいて製造した結果、製造上の問題は生じなかった。

曲げやせん断において積層方向・幅方向の荷重方向に関わらず強度低下がみられたが、想定される強度等級に与えられる基準強度は満足した。また、処理ラミナの強度性能から製品強度を告示式で推定できることが明らかになったことから、注入処理ラミナの再グレーディングが実際の工程では必要不可欠であることが明らかになった。インサイジング処理の影響はスプライン接合、引きボルト接合についても認められず通常 CLT と同様の設計が可能であった。

なお、昨年収集した他処理薬剤との比較については、ラミナの曲げヤング係数の分布が昨年と今年で異なっている点を十分解析した上で今後結論を得たい。

浸潤度、吸収量については、集成材 JAS の測定方法、基準値を参照して行ったが、インサイジング処理の有無に関わらず基準を満たすことが確認できた。



### 第3章 保存処理 CLT の規格に求められる品質基準案の作成

#### 3.1 品質項目

昨年度は、保存処理 CLT の製造および各種試験を通じて明らかになった製造管理上のポイントと保存処理された製材や集成材の JAS に規定される関連項目、優良木質建材認証制度に規定される防腐防蟻処理直交集成板の規格等を参照しながら品質基準案について検討した。表 3-1 に、直交集成板 JAS および防腐防蟻処理直交集成板 AQ の主な品質項目を示す。以下に、各試験項目に関する考察を記述する。

表 3-1 直交集成板 JAS および防腐防蟻処理直交集成板 AQ の主な品質項目

試験項目	対象	JAS	AQ
曲げ試験	製品強度	○	○
曲げ B 試験	ラミナ MOE	○	
曲げ C 試験/引張試験	ラミナ強度	○	
せん断試験	製品強度	○	
接着試験	製品	○	○
寸法	製品	○	○
含水率	製品	○	
浸潤度	製品/ラミナ		○
吸収量	製品		○

##### 3.1.1 曲げ試験

昨年度の結果では「インサイジング+加圧処理」ラミナを用いた製品は「無処理」ラミナを用いた製品と比較して曲げ強度、曲げヤング係数ともに低下した。しかしながら、今年度実施した「インサイジング+加圧処理」ラミナと「加圧処理」ラミナの製品間では曲げ強度にのみ低下の影響が認められた。ただし、「ラミナ処理」に関してはラミナ強度から基準強度算出式を用いて製品強度を推定できることから「保存処理ラミナ」については改めてラミナを等級区分し、また、たて継ぎラミナの強度試験を行う場合は、実施の必要はない。

一方「製品処理」では曲げ強度、曲げヤング係数ともに注入前と変化がないことを昨年度は確認したが、今後、水溶性薬剤が対象となる場合はデータ収集を行うなどしてその必要性について検討する必要がある。

格付け検査としての製品の曲げ試験は、通常製品と同様、ラミナを対象とした曲げ B 試験と曲げ C 試験もしくは引張試験を実施する場合は、実施する必要はない。ただし、インサイジング処理した CLT パネル、あるいはインサイジング処理したラミナを用いて製造した CLT パネルに保存処理を行う場合については、本試験の要不要は別途検討する必要がある。

##### 3.1.2 曲げ B 試験

曲げ試験（製品）を実施する場合を除いて実施する必要がある。

##### 3.1.3 曲げ C 試験 もしくは 引張試験

曲げ試験（製品）を実施する場合を除いて実施する必要がある。

### 3.1.4 せん断試験

製品処理、ラミナ処理ともに強度低下が見られた。現行 CLT/JAS ではラミナ厚さと幅の比が規定を満たさない場合に、せん断試験を実施することになっているが、ラミナ処理した製品も本項目の対象とした方がよいと考えられる。また、インサイジング処理の影響は、せん断弾性係数やせん断強さともに確認されたことから、これらへの対応が必要となる。

### 3.1.5 接着試験

格付け検査として実施する必要がある。

### 3.1.6 寸法

製品処理されたパネルから採取した強度試験体の厚さが CLT/JAS の寸法の許容範囲を超えていたことが確認された。より適正な製品処理条件について引き続き模索するとともに、CLT/JAS で規定する寸法測定箇所についても検討しておく必要がある。特に、表層ラミナの木口面が見える面での測定については検討が必要である。

### 3.1.7 含水率

製品処理されたパネルから採取した強度試験体の含水率が CLT/JAS の含水率の許容範囲を超えていたことが確認された。ただし、これは乾燥の前後で生じる重量変化は全て水の蒸発により生じることを前提とした測定値であることに留意しておく必要がある。より適正な製品処理条件について引き続き模索するとともに、測定場所や測定方法についても検討しておく必要がある。また、含水率計の利用についても検討しておく必要がある。

### 3.1.8 浸潤度

優良木質建材認証制度 (AQ) の防腐防蟻処理直交集成板および JAS 規格で保存処理に関する性能区分が設けられている各種木質材料に関する浸潤度の基準をまとめて表 3-2 に示す。製品によって、辺材部/心材部、全断面/材面からの距離など評価対象となる部位が異なる一方で、いずれも試験体の採取位置は、軸材料では材長方向の中央部、面材料ではパネルの中央付近となっており、製品の中央まで薬剤の浸潤を求めるようになっている。これは製品の特長と利用される箇所がある程度限定されているためであると考えられる。

一方、CLT は建築物の壁、床、屋根や土木構造物等に利用されると考えられるが、それぞれの使用環境が異なることからそれらに対応した要求性能がいろいろありうること、また、CLT が従来の木質材料にない大断面で長大な部材として供給されることを勘案すると、保存処理の程度もそれに応じて複数あってもよいと考えられる。したがって、従来の規定・基準にとらわれない新たな性能区分やそれを担保するための試験体採取位置等を含む試験方法や基準について、広く検討してもよいと考えられる。

今年度は、CLT の側面においてラミナの木口面を対象に 50mm の箇所を測定対象とする提案を行った。その妥当性や必要性については引き続き検討が必要である。

また、格付け検査にあたっては実製品を対象とする必要があるが、試験対象となった製品の利用は不可なので、モデル試験等についてさらに検討する必要がある。

表 3-2 性能区分と浸潤度の評価基準

性能区分	製品	評価基準
AQ : 2種	直交集成板	断面の 80% + 材面から深さ 10mm までの 80%
JAS : K3	製材 / 集成材	辺材部の 80% + 材面から深さ 10mm までの心材部の 80%
	単板積層材 / 合板	断面の 60% + 材面から深さ 10mm までの 80%
JAS : K2	製材 / D1	辺材部の 80% + 材面から深さ 10mm までの心材部の 20%
	製材 / D2	辺材部の 80% + 材面から深さ 10mm までの心材部の 80%
JAS : K4	製材 / D1	辺材部の 80% + 材面から深さ 10mm までの心材部の 80%
	製材 / D2 (短辺 90mm 以下)	辺材部の 80% + 材面から深さ 15mm までの心材部の 80%
	製材 / D2 (短辺 90mm 超え)	辺材部の 80% + 材面から深さ 20mm までの心材部の 80%

### 3.1.9 吸収量

吸収量の測定用試料は、浸潤度の検査と同じ試料が使用されることからその採取位置等について考える必要があるが、薬剤毎の基準値は従来の数値が利用できると考えられる。

今年度は、集成材 JAS を参考としてサンプルの分量は 5mm×20mm×10mm のブロック 4 個分を表層ラミナの辺材部から採取することを提案した。

### 3.1.10 まとめ

保存処理 CLT の製造方法に対応して、規格で確認すべき品質項目をまとめて表 3-3 に示す。実施にあたって測定方法の検討が必要なものを「実施※1」、サンプリング位置やそれに伴う基準値について検討が必要なものを「実施※2」、サンプリング位置の検討が必要なものを「実施※3」として示した。

表 3-3 保存処理 CLT の品質項目

試験項目	対象	ラミナ処理	製品処理
曲げ試験	製品強度	—	要検討
曲げ B 試験	ラミナ MOE	実施	—
曲げ C 試験 / 引張試験	ラミナ強度	実施	—
せん断試験	製品強度	実施	要検討
接着試験	製品	実施	実施
寸法	製品	実施	実施※1
含水率	製品	実施※1	実施※1
浸潤度	製品 / ラミナ	実施※2	実施※2
吸収量	製品	実施※3	実施※3



## 第4章 使用環境に対応したCLTの保存処理への耐候性要求性能把握

### 4.1 気象条件、質量、色差、外観について

#### 4.1.1 目的

CLTの利用は年々増えているが、経年変化については十分に検討されているとはいえない状況にある。用途や使用箇所、使用方法も画一的ではないため、劣化の進展も異なると考えられる。そこで、使用環境に対応した保存処理CLTへの耐候性要求性能を把握することを目的として検討を行った。

屋外利用では、日射や水分が気象劣化の要因として挙げられるが、それらの作用程度は部材が垂直使用か水平使用かなどによって異なる。そこでR2年度に、屋外に垂直および水平暴露試験台を設けて、日射や雨水などの影響が異なる条件を設定し、各種の保存処理（AAC、ACQ、AZN、AZNA、CUAZ、LPHの6種類）を施したスギCLTブロックの屋外暴露試験を開始した。保存剤は、CLTブロック又はラミナへ注入した。無処理のもの、塗装のみを施したもの、保存処理後に塗装したものを比較することで、それぞれの耐候性能の特性を明らかにすることとした。暴露開始後、主に木口から進展したと思われる割れが目立ち始めたため、R3年度からは木口シーンを施した試験体を追加し、木口シーンによる劣化抑制効果を検討することとした。R4年度は、これらの屋外での変化に関する各種測定を継続し、保存処理と塗装の種類や、暴露条件による気象劣化の違いを検討した。

#### 4.1.2 方法

##### 4.1.2.1 試験体

###### (1) R2年度暴露開始試験体

保存処理をCLTブロックに施した試験体（以下「製品処理」と呼ぶ）とラミナへ施した試験体（以下「ラミナ処理」と呼ぶ）を合計62体作製した。いずれも樹種はスギで、寸法は290mm×290mm×厚さ90mmとした。まず山佐木材（株）において厚さ35mm×幅110mm×長さ3000mmのスギラミナを作製し、このラミナを使用して、製品処理CLTとラミナ処理CLTを作製した。

製品処理CLTは幅はぎ有りとし、山佐木材（株）で接着・仕上げを行った後、各保存処理メーカー（大日本木材防腐（株）、越井木材工業（株）、兼松サステック（株）、（株）サイエンス、九州木材工業（株））にて保存処理（AAC、ACQ、AZN、AZNA、CUAZ、LPHの6種類）を施した。ラミナ処理CLTは幅はぎ無しとし、各社（同上）にて保存処理（同上）を施した後、（地独）北海道立総合研究機構林産試験場において接着・仕上げを行った。保存処理は基本的に製材の日本農林規格K3相当（K3処理と同条件で処理）としたが、AZNAについてはK4相当（K4処理と同条件で処理）とした。比較のため、無処理のもの（製品処理CLTのみ）と塗装のみを施したもの（製品処理CLTおよびラミナ処理CLT）も用意した。試験体一覧を表4.1.2-1に示した。なお、山佐木材（株）でのCLT製造工程、（地独）北海道立総合研究機構林産試験場での接着・仕上げ工程、各保存処理メーカーでの保存処理・塗装の詳細については、R2年度の報告書を参照されたい。

表 4.1.2-1 R2 年度屋外暴露開始 CLT 試験体一覧

製品処理/ ラミナ処理	薬剤	塗装		個数		サンプル名
		記号	詳細	垂直	水平	
製品処理	AAC	無し(N)	-	1	1	製-AAC-N
製品処理	AAC	A	油性・含浸形・濃色	1	1	製-AAC-A
製品処理	無処理	A	油性・含浸形・濃色	1	1	製-無処理-A
製品処理	ACQ	無し(N)	-	1	1	製-ACQ-N
製品処理	ACQ	B	油性・含浸形・濃色	1	1	製-ACQ-B
製品処理	無処理	B	油性・含浸形・濃色	1	1	製-無処理-B
製品処理	AZN	無し(N)	-	1	1	製-AZN-N
製品処理	AZN	C	水性・半造膜形・淡色	1	1	製-AZN-C
製品処理	無処理	C	水性・半造膜形・淡色	1	1	製-無処理-C
製品処理	AZNA	無し(N)	-	1	1	製-AZNA-N
製品処理	AZNA	D	水性・半造膜形・濃色	1	1	製-AZNA-D
製品処理	CUAZ	無し(N)	-	1	1	製-CUAZ-N
製品処理	CUAZ	D	水性・半造膜形・濃色	1	1	製-CUAZ-D
製品処理	無処理	D	水性・半造膜形・濃色	1	1	製-無処理-D
製品処理	LPH	無し(N)	-	1	1	製-LPH-N
製品処理	LPH	E	油性・含浸形・濃色	1	1	製-LPH-E
製品処理	無処理	E	油性・含浸形・濃色	1	1	製-無処理-E
製品処理	無処理	無し(N)	-	2	2	製-無処理-N
ラミナ処理	AAC	無し(N)	-	1	1	ラ-AAC-N
ラミナ処理	AAC	A	油性・含浸形・濃色	1	1	ラ-AAC-A
ラミナ処理	無処理	A	油性・含浸形・濃色	0	0	ラ-無処理-A
ラミナ処理	ACQ	無し(N)	-	1	1	ラ-ACQ-N
ラミナ処理	ACQ	B	油性・含浸形・濃色	1	1	ラ-ACQ-B
ラミナ処理	無処理	B	油性・含浸形・濃色	0	0	ラ-無処理-B
ラミナ処理	AZN	無し(N)	-	1	1	ラ-AZN-N
ラミナ処理	AZN	C	水性・半造膜形・淡色	1	1	ラ-AZN-C
ラミナ処理	無処理	C	水性・半造膜形・淡色	0	0	ラ-無処理-C
ラミナ処理	AZNA	無し(N)	-	1	1	ラ-AZNA-N
ラミナ処理	AZNA	D	水性・半造膜形・濃色	1	1	ラ-AZNA-D
ラミナ処理	CUAZ	無し(N)	-	1	1	ラ-CUAZ-N
ラミナ処理	CUAZ	D	水性・半造膜形・濃色	1	1	ラ-CUAZ-D
ラミナ処理	無処理	D	水性・半造膜形・濃色	0	0	ラ-無処理-D
ラミナ処理	LPH	無し(N)	-	1	1	ラ-LPH-N
ラミナ処理	LPH	E	油性・含浸形・濃色	1	1	ラ-LPH-E
ラミナ処理	無処理	E	油性・含浸形・濃色	0	0	ラ-無処理-E
ラミナ処理	無処理	無し(N)	-	0	0	ラ-無処理-N
合計				31	31	

※詳細は R2 年度の報告書に記載

(2) R3年度追加試験体（木口シール試験体）

R2年度に暴露を開始した試験体は側面4面で木口が露出していたため、木口割れが多数発生し、貫通割れに至ったものもあった（写真4.1.2-1）。各種計測に影響を及ぼす場合もあり、さらに、CLTについては利用者から割れが気になるといった感想も比較的多く聞かれるため、R3年度は新たに木口シールを施した試験体を追加し、割れの経過観察とR2年度同様の色差などの測定を行うこととした。

暴露架台の空いている箇所に限りがあったため、表4.1.2-2に示す合計16体を作製した。試験体は全て製品処理CLT（山佐木材（株）、幅はぎ有り）で、R2年度と同寸法（290×290×厚さ90mm）とし、保存処理はACQ、AZN、無処理として、それぞれR2年度と同種類の塗料で塗装した。木口割れを防止するため、木口が露出している4面に、2液型エポキシ樹脂接着剤（ボンドクイック30、コニシ（株））を塗布し、乾燥後にアルミテープ（AT-50、日東電工CSシステム（株））で被覆して木口シールを施した（写真4.1.2-2）。



写真4.1.2-1 割れの状況（2021年4月7日：暴露開始後約6か月経過時）

表4.1.2-2 R3年度屋外暴露開始CLT（木口シール有り）試験体一覧

薬剤	塗装		個数		サンプル名
	記号	詳細	垂直暴露	水平暴露	
ACQ	B	油性・含浸形・濃色	2	2	製-ACQ-B-S
無処理	B	油性・含浸形・濃色	2	2	製-無処理-B-S
AZN	C	水性・半造膜形・淡色	2	2	製-AZN-C-S
無処理	C	水性・半造膜形・淡色	2	2	製-無処理-C-S
合計			8	8	

※全て製品処理



写真 4. 1. 2-2 木口シールした試験体の例

#### 4. 1. 2. 2 耐候性試験

R2 年度に作製した試験体については、スキャナーによる画像記録、含水率と質量の測定、測色を行った後、2020 年 10 月 15 日に、ものづくり大学構内（埼玉県行田市前谷 333）に設けた垂直および水平暴露架台に設置し、2 週間ごとを目安にスキャナーによる試験体外観の撮影、含水率と質量の測定、測色を行った。あわせて、暴露架台に設置した温湿度計による計測値と気象観測データ（屋外暴露試験地から 7.9km 離れた熊谷地方気象台のデータ）を記録した。試験体の設置状況を写真 4. 1. 2-3 に示した。計測は、ものづくり大学小野泰教授の研究室所属の 3 年生が行った。なお、試験体「ラ-AZNA-N-水平」（ラミナ処理、AZNA、無塗装、水平暴露）および全ての無処理・無塗装試験体（4 体）は、1 回目の計測後、計測面の表裏を誤って設置したため、2 回目以降の画像、含水率、質量、色の計測面は、1 回目の計測面とは反対面のものとなった。

R3 年度に作製した試験体の屋外暴露は、R2 年度の開始と同時期となる 2021 年 10 月 20 日とした。R2 年度開始試験体と同様に試験体外観記録、含水率、質量の測定、測色を行い、加えて割れの計測も開始した。R2 年度と R3 年度に暴露を開始した試験体の配置を図 4. 1. 2-1 に示した。

試験体の画像撮影には、スキャナー（400-SCN025、サンワサプライ（株））を用い、カラーチェッカー（PASPORT PHT02 カラーチェッカー MSCCPP-B、X-rite PANTONE）とともに撮影した。温湿度測定には温湿度計（THD501、シチズン・システムズ（株））を用いた。含水率測定には含水率計（MOCO II HM-520、（株）ケツト科学研究所）を用い、試験体の暴露面の中心線上の上下端からそれぞれ 60 mm の位置および中心点で測定した（図 4. 1. 2-2）。測色には色差計（CR-20、コニカミノルタ（株））を用い、光源 D65、測定径  $\phi$  8mm、視野角 10 度の条件で、試験体暴露表面中央部において測色パラメーター  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  を測定し、次式により色差  $\Delta E^*_{ab}$  を求めた。

$$\Delta E^*_{ab} = \{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2\}^{1/2} \quad \dots$$

(1)

なお、割れの測定方法と結果については、4. 2 に記載されている。



写真 4. 1. 2-3 試験体設置状況

垂直暴露

上	製- AZN- C	製- CUAZ- D	製- 無処 理-N	製- ACQ- B	製- CUAZ- N	製- AZNA- D	ラ- AAC- N	ラ- CUAZ- N	ラ- CUAZ- D	ラ- AAC-A	製- 無処 理- C-S1	製- ACQ- B-S1	製- AZN- C-S2
中	製- 無処 理-C	製- AAC-A	製- 無処 理-E	製- AZN- N	製- LPH- E	製- AAC-N	ラ- LPH- N	製-無 処理- B-S1	製-無 処理- B-S2	ラ- AZNA- N	ラ- LPH- E	ラ- AZN-C	製- 無処 理- C-S2
下	製- 無処 理-D	製- ACQ-N	製- 無処 理-A	製- AZNA- N	製- LPH-N	製-無 処理- B	製- ACQ- B-S2	ラ- ACQ-B	ラ- ACQ-N	製- AZN- C-S1	ラ- AZN- N	ラ- AZNA- D	製- 無処 理-N

水平暴露

北	製- AZN- C	製- CUAZ- D	製- 無処 理-N	製- ACQ- B	製- CUAZ- N	製- AZNA- D	ラ- AAC- N	ラ- CUAZ- N	ラ- CUAZ- D	ラ- AAC-A	製- 無処 理- C-S1	製- ACQ- B-S1	製- AZN- C-S2
赤	製- 無処 理-C	製- AAC-A	製- 無処 理-E	製- AZN- N	製- LPH- E	製- AAC-N	ラ- LPH- N	製-無 処理- B-S1	製-無 処理- B-S2	ラ- AZNA- N	ラ- LPH- E	ラ- AZN-C	製- 無処 理- C-S2
南	製- 無処 理-D	製- ACQ-N	製- 無処 理-A	製- AZNA- N	製- LPH-N	製-無 処理- B	製- ACQ- B-S2	ラ- ACQ-B	ラ- ACQ-N	製- AZN- C-S1	ラ- AZN- N	ラ- AZNA- D	製- 無処 理-N

図 4. 1. 2-1 暴露架台への試験体の配置図 (乱数でランダム化した配置)

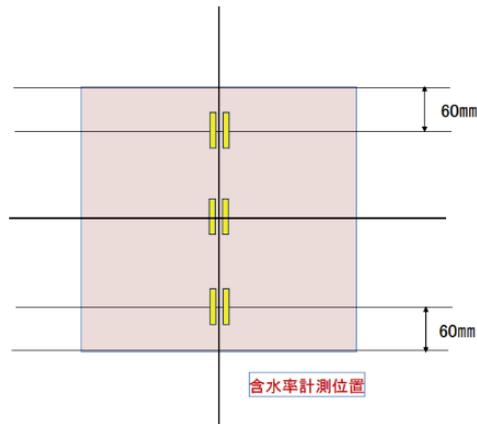


図 4.1.2-2 含水率測定位置

#### 4.1.3 結果と考察

##### 4.1.3.1 気象条件

屋外暴露期間中（2020年10月15日～2023年2月15日）の日平均気温、日平均湿度、降水量、日照時間の変化を図4.1.3-1に、それぞれの期間平均値または期間積算値を表4.1.3-1に示した。

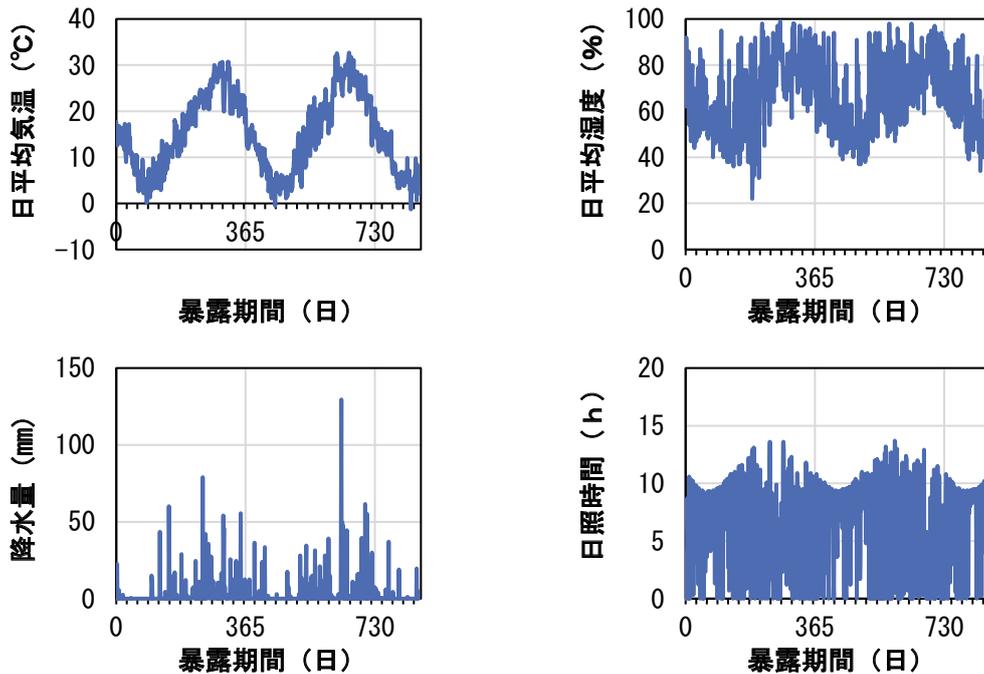


図 4.1.3-1 屋外暴露期間中の日平均気温、日平均湿度、日合計降水量、日照時間の変化（2020年10月15日～2023年2月15日）

表 4.1.3-1 屋外暴露期間中の気象条件<sup>a)</sup>

	日平均気温	相対湿度	降水量	日照時間
暴露期間	(期間平均値)	(期間平均値)	(期間積算値)	(期間積算値)
	(°C)	(%)	(mm)	(hours)

R2 年度開始試験体 2020年10月15日 ～2022年2月15日 (488日)	14.1	65	1243	3070
2020年10月15日 ～2023年2月15日 (853日)	15.0	66	2489	5275
R3 年度開始試験体 2021年10月20日 ～2023年2月15日 (483日)	14.1	66	1402	3073

a) 屋外暴露試験地から7.9km離れた熊谷地方気象台の観測データに基づく

暴露2年目には降水量がかなり高い日があったが、1年目・2年目とも夏季に気温や降水量の値が高くなる傾向はほぼ同様で、R2年度暴露開始から488日目までと、R3年度暴露開始から483日目までの気温と相対湿度の期間平均値と日照時間の期間積算値は同程度であった。

#### 4.1.3.2 R2年度暴露開始試験体（木口シール無し）の経過

R2年度暴露開始試験体（木口シール無し）の含水率計表示値、質量、色差 $\Delta E^*_{ab}$ 、および色調パラメーターの変化を図4.1.3-2～4.1.3-7に、屋外暴露期間中の試験体外観を表4.1.3-2～4.1.3-9に示した。

含水率計表示値と質量は、気温や降水量の値が高くなる時期に比較的高い値を示し、保存処理試験体については、塗装試験体で比較的变化が抑制される傾向があった（図4.1.3-2、図4.1.3-3）。暴露角度や製品処理とラミナ処理の違いについては、現時点では統一した傾向を述べることは難しいが、今後暴露を継続して割れとの関係なども含め検討を進めたい。

色差（図4.1.3-4）については、垂直暴露よりも水平暴露の方が、いずれの条件でも値が大きく、すなわち変色が大きいことが示された。また暴露期間が長くなると、保存処理・無塗装試験体では製品処理よりもラミナ処理で色差の値が大きくなっていた。製品処理は幅はぎ有り、ラミナ処理は幅はぎ無しであり、暴露期間中の画像（表4.1.3-2～4.1.3-8）を見ると、ラミナ処理では雨染みやラミナ間の隙間が目立つものがあり、ラミナ間の隙間に滞留した水がラミナに浸透して変色に影響を及ぼした可能性が考えられた。 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ は、概ね低下または横ばいであったが、気温と降水量の値が高い時期に主に無塗装試験体で値が高くなる場合があった。また全体として、無処理・無塗装試験体ではばらつきが大きかった。表4.1.3-9を見ると、無処理・無塗装試験体では時期によって雨染みなどが要因と考えられる変色の位置が異なっており、雨水などの影響によって色調のばらつきが大きくなったことが推測された。

現時点までに、無処理材および保存処理材とも、塗装試験体は無塗装試験体よりも色差の

値がかなり小さいことが示され、今後も測定を継続することで、保存処理と塗装の種類や、暴露条件による気象劣化の違いが顕著になると考えられる。

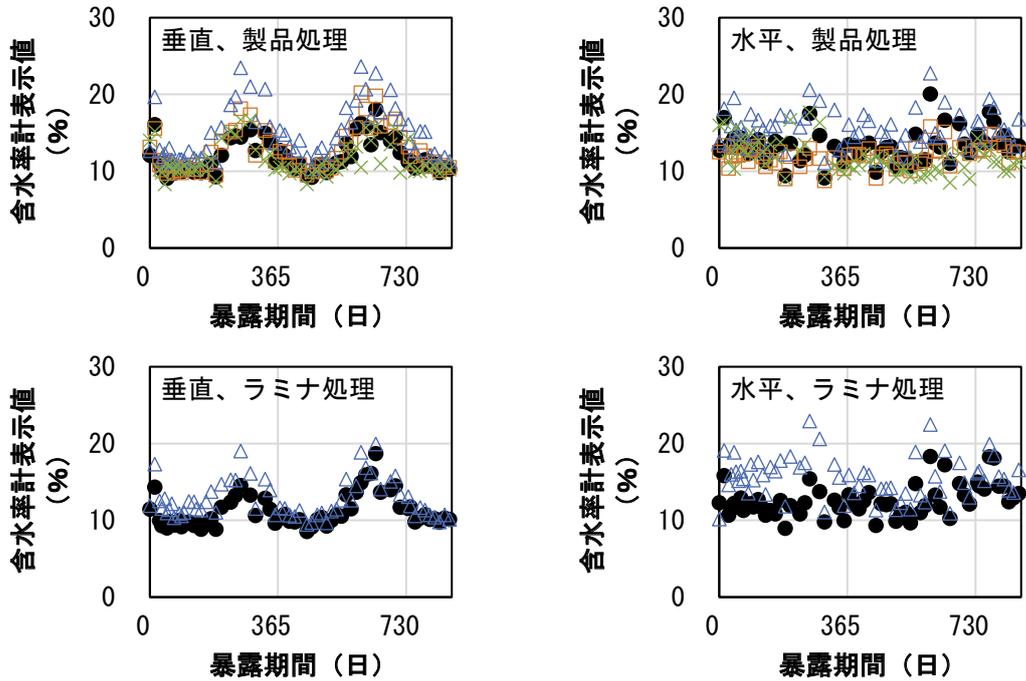


図 4.1.3-2 屋外暴露期間中の含水率計表示値の変化

× 無処理・無塗装; △ 保存処理・無塗装; □ 無処理・塗装; ● 保存処理・塗装

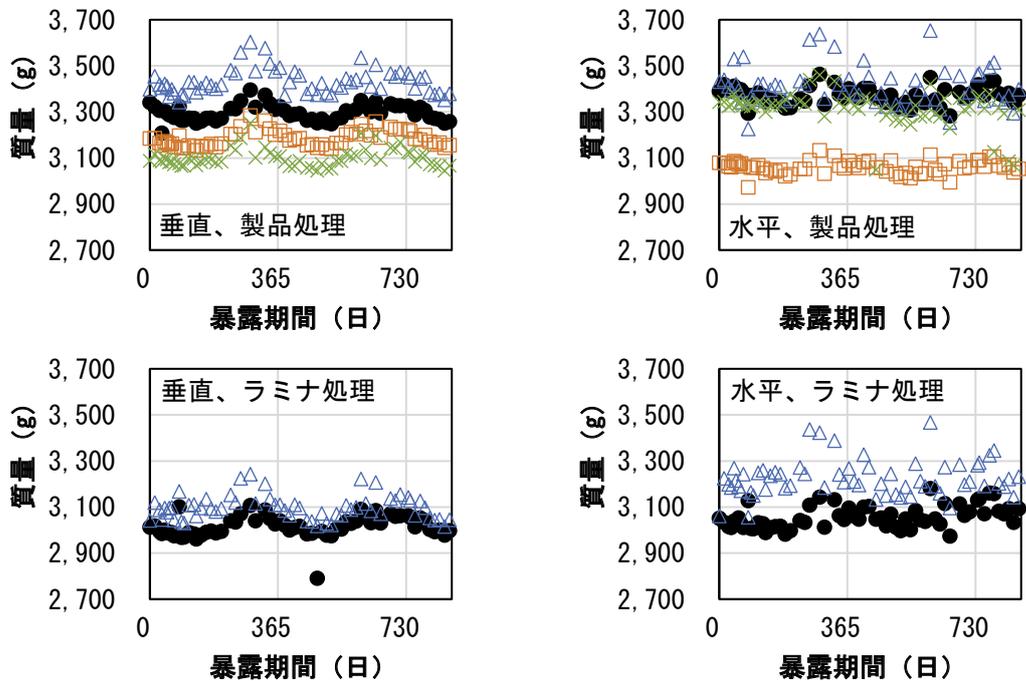


図 4.1.3-3 屋外暴露期間中の質量の変化

× 無処理・無塗装; △ 保存処理・無塗装; □ 無処理・塗装; ● 保存処理・塗装

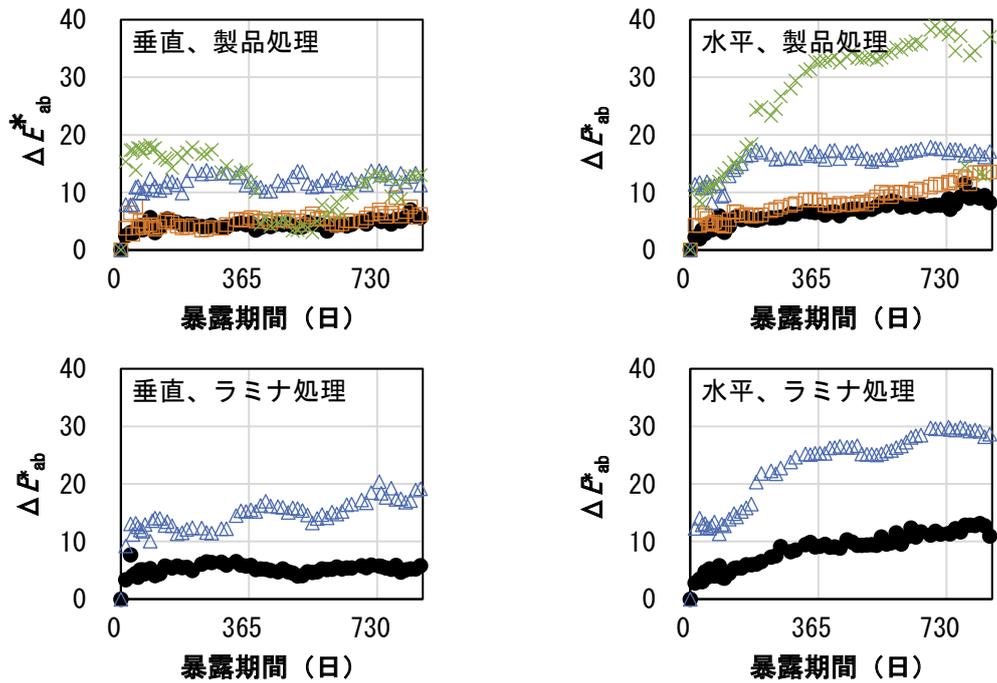


図 4. 1. 3-4 屋外暴露期間中の色差 ( $\Delta E^*_{ab}$ ) の変化

× 無処理・無塗装; △ 保存処理・無塗装; □ 無処理・塗装; ● 保存処理・塗装

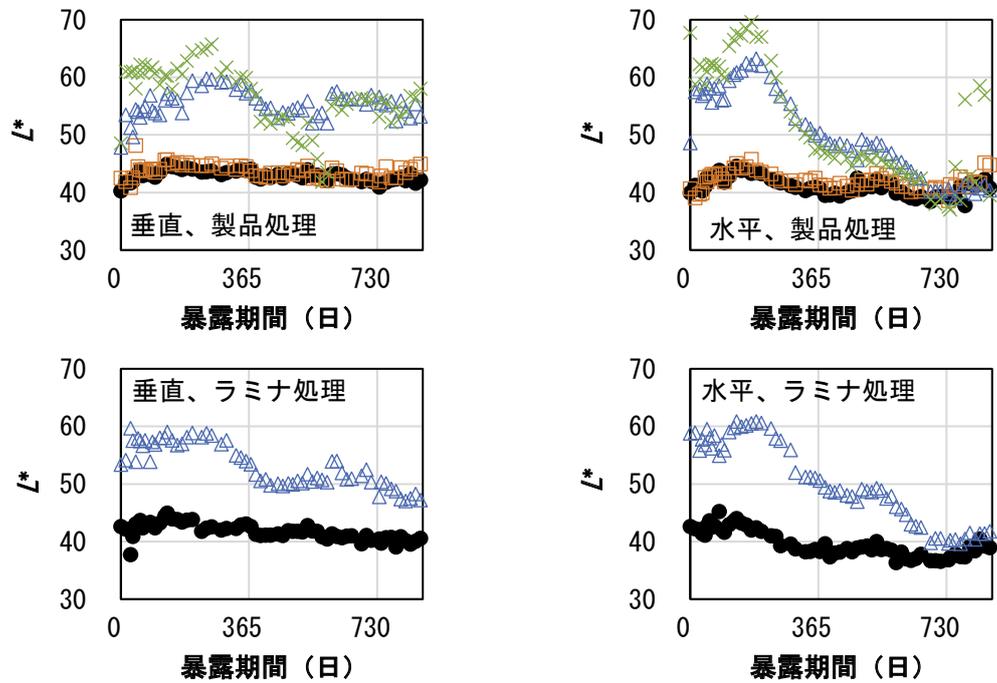


図 4. 1. 3-5 屋外暴露期間中の色調パラメーター ( $L^*$  (明度)) の変化

× 無処理・無塗装; △ 保存処理・無塗装; □ 無処理・塗装; ● 保存処理・塗装

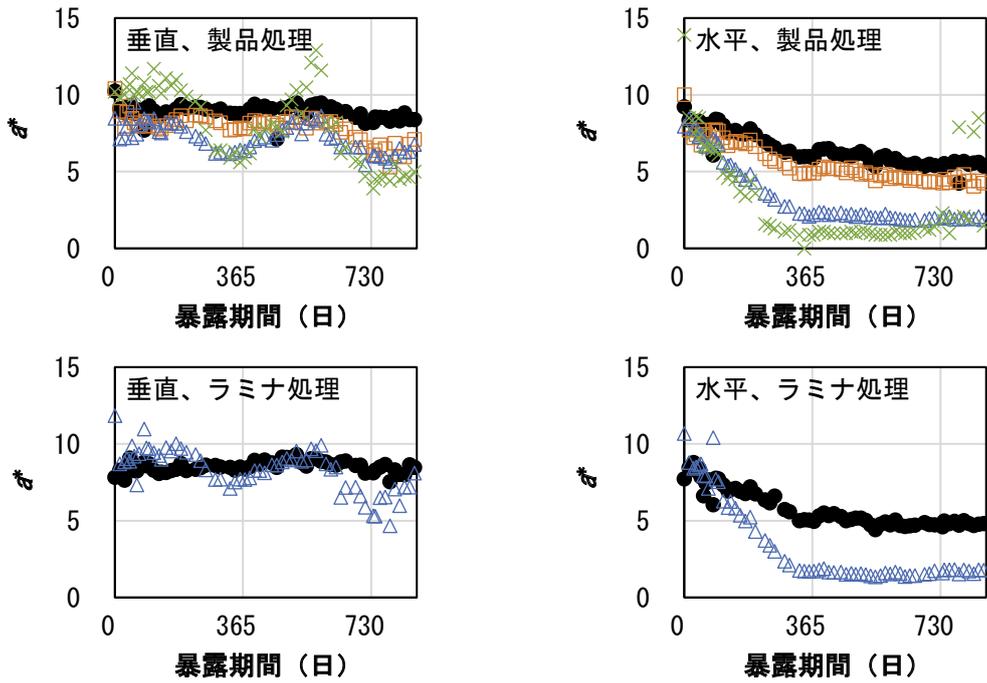


図 4.1.3-6 屋外暴露期間中の色調パラメーター( $a^*$ (+赤-緑))の変化  
 ×無処理・無塗装; △保存処理・無塗装; □無処理・塗装; ●保存処理・塗装

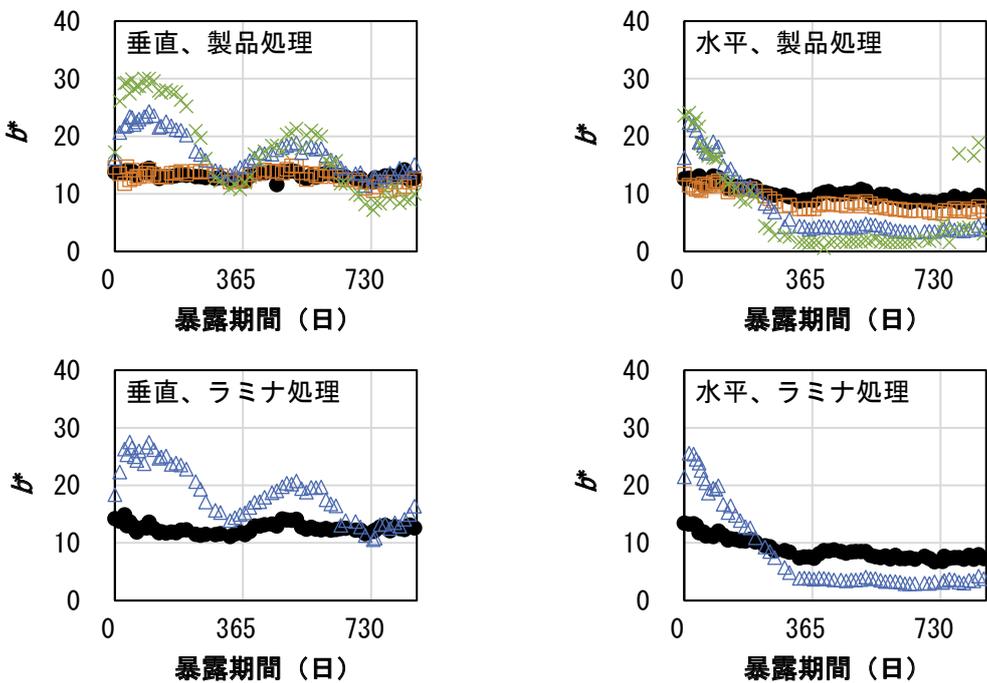
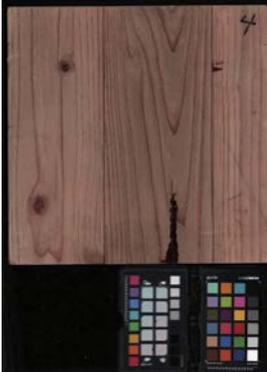
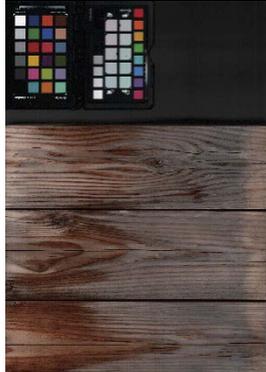


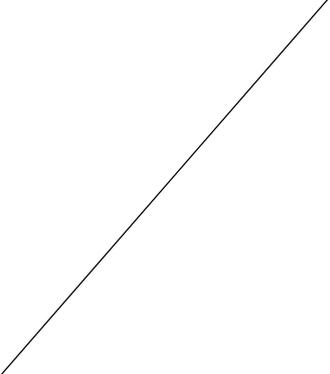
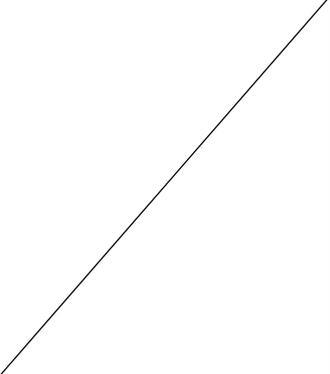
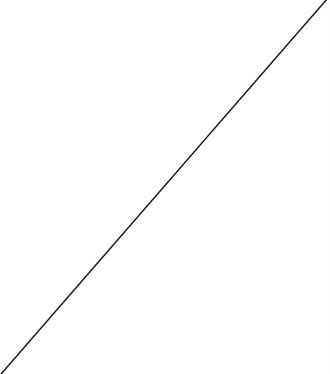
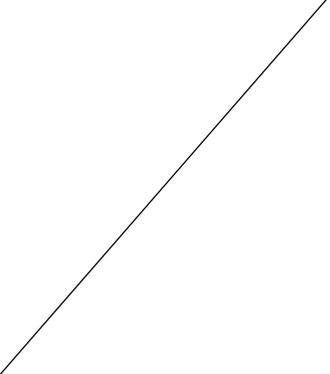
図 4.1.3-7 屋外暴露期間中の色調パラメーター( $b^*$ (+黄-青))の変化  
 ×無処理・無塗装; △保存処理・無塗装; □無処理・塗装; ●保存処理・塗装

表 4.1.3-2 屋外暴露試験体のスキャナー画像 (AAC、コントロール)

薬剤	塗装	垂直/ 水平	暴露期 間 (月)	製品処理	ラミナ処理
AAC	無し (N)	垂直	0		
			15		
			23		
		水平	0		

		15		
		23		
A	垂直	0		
		15		

			23		
	水平		0		
			15		
			23		

無処理	A	垂直	0		
			15		
			23		
		水平	0		

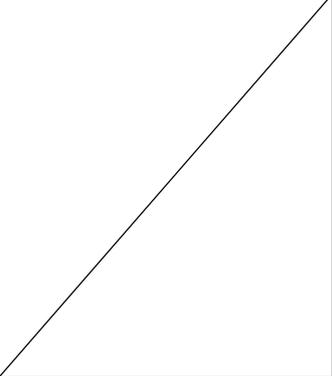
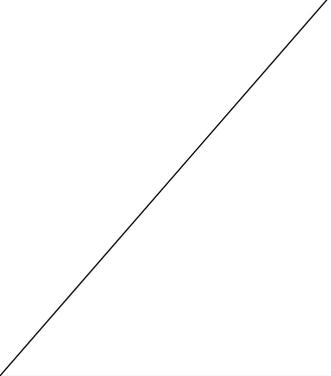
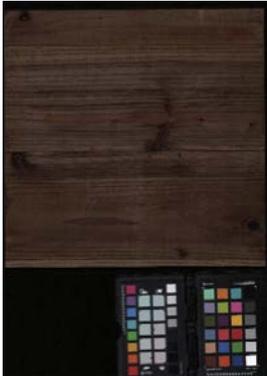
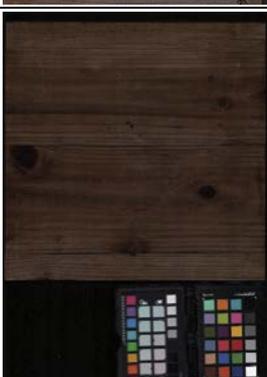
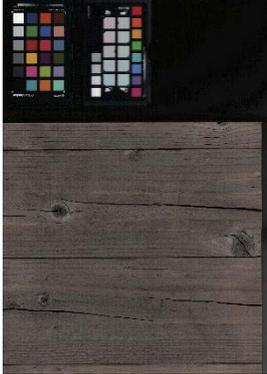
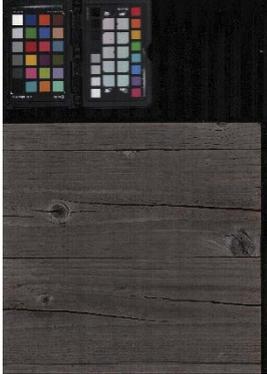
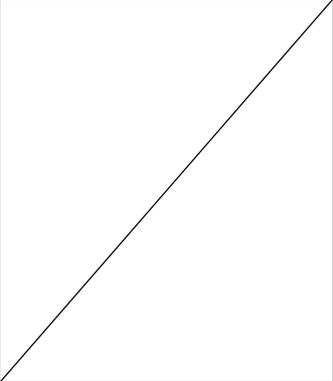
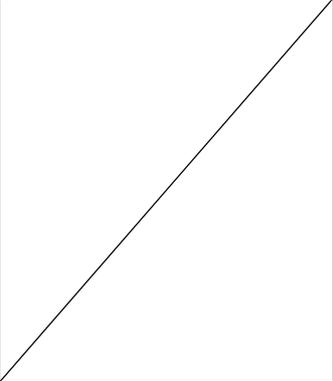
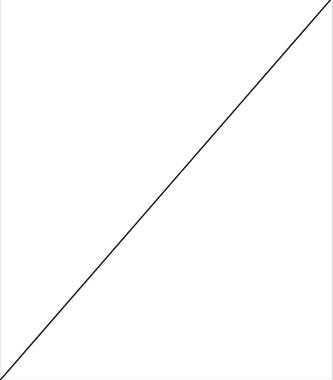
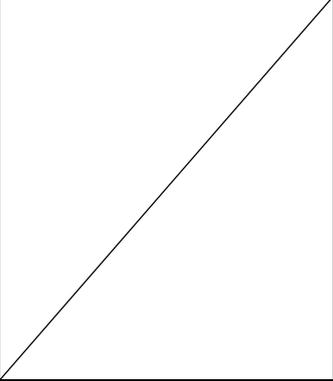
			15		
			23		

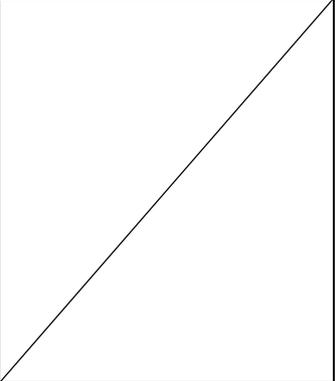
表 4.1.3-3 屋外暴露試験体のスキャナー画像 (ACQ、コントロール)

薬剤	塗装	垂直/ 水平	暴露期 間 (月)	製品処理	ラミナ処理
ACQ	無し (N)	垂直	0		
			15		
			23		
		水平	0		

		15		
		23		
B	垂直	0		
		15		

			23		
	水平		0		
			15		
			23		

無処理	B	垂直	0		
			15		
			23		
		水平	0		

			15		
			23		