

第7章 ローリングシア強度を導くための面内せん断実験

7.1 試験の目的

L形・T形実験結果において、押し側加力時と引き側加力時の耐力差がみられた。原因として、押し側加力時に生じた木材特有の破壊であるローリングシアによる破壊の影響が考えられた。ローリングシア破壊とは、繊維方向にせん断力が作用する際に、RT面で生じる繊維が転がるような破壊性状であり、合板などの繊維方向を直行させて接着させた単板において、表裏層単板にずらすようなせん断力が働くと、芯板で生じる事が知られている。一方小松は、クロスラップジョイントの交差積層接合部において、破壊の一員がローリングシアであることを示唆しており、設計式を導いている^{2) 3)}。しかし、現在ローリングシアによる破壊に関する知見は少なく、その挙動も明らかではない。さらに現在ローリングシアによる破壊に関する知見は少なく、ローリングシアに対する繊維角度の影響については明らかではない。よって、本実験ではCLTローリングシア強度を実験から導くと共に、その挙動を考察する。

7.2 試験体の形状

試験体材料はL形・T形実験に用いた試験体材料と同様とし、3層3プライ異等級スギ Mx60・B種から切り出した200×300mmの厚さ90mmパネルを用いた。直交層(中間層)のひき板部分をローリングシア破壊させるために、「スギCLTパネル層内せん断耐力の推定」¹⁾を参考に試験体の両面で、それぞれ端部から107mmの位置に幅6mmのスリットを設けた。試験体は、最外層の繊維傾斜角度を加力方向に対して0度となるものを基準として、15度、30度、45度に変えた4条件とし、それぞれRS0~RS45と名づけた。各10体ずつ用意した。

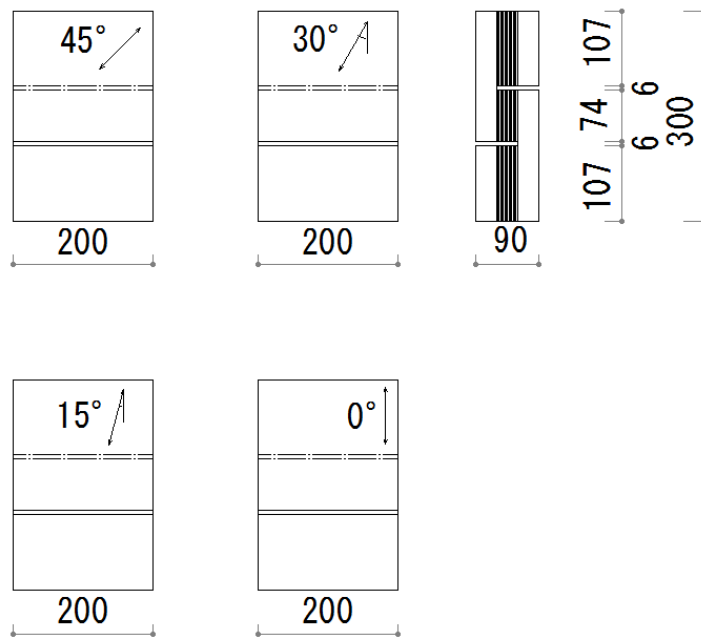


図 7.2.1 試験体図

7.3 加力・計測方法

表 7.3.1 に計測器リスト・図 7.3.1、写真 7.3.1 に計測器の配置図・試験体設置図を示す。変位計は、圧縮表層面の変位を含まないように、スリット側面に標点間距離 100mm ナイフエッジを介して試験体両側に取り付け、相対変位を計測した。Instron100kN 試験機を用いて圧縮荷重を加え、スリッド間をローリングシア破壊させた。载荷速度 10mm/sec として、荷重が 8 割低下するまで試験を行った。

表 7.3.1 計測器リスト

CH	記号	内容	測定器
0	—	試験機荷重	Instron100kN
1	S1	層内変位	CDP-10m
2	S2	層内変位	CDP-10m

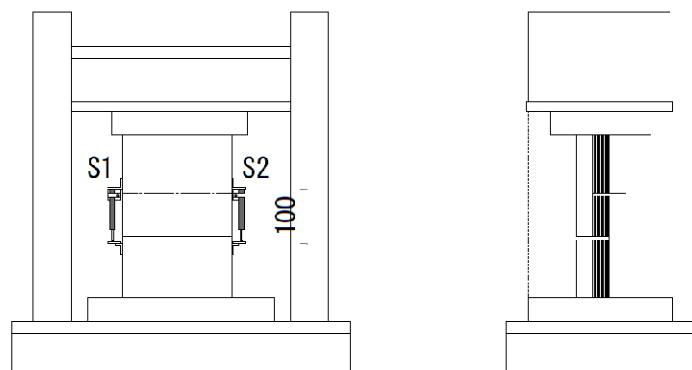


図 7.3.1 試験体設置図



写真 7.3.1 試験体設置写真

結果の整理方法

- ・荷重 P

アクチュエータにとりつけたロードセルにより計測した値

- ・せん断ひずみ γ

変位成分はすべて内層のローリングシア変形に由来すると仮定し、標点間距離 100mm で左右に設置した変位計の平均値を内層ひき板厚さ(=30mm)で除して算出

$$\gamma = \delta_{ave}/30$$

ここに

$$\delta_{ave} = (\delta_1 + \delta_2)/2 \quad \text{とし左右にとりつけた変位計の平均とする}$$

- ・ローリングシア一応力度 τ_r

$$\tau_r = P/A = P/(b \times h)$$

ここに

A: せん断面積(mm²)

b: 試験体幅(mm)

h: 切り込み間内法高さ(mm)

- ・ローリングシア強度 f_r

最大ローリングシア一応力度 τ_r の 5% 下限値

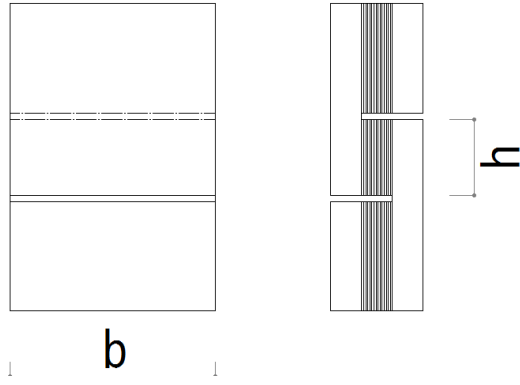


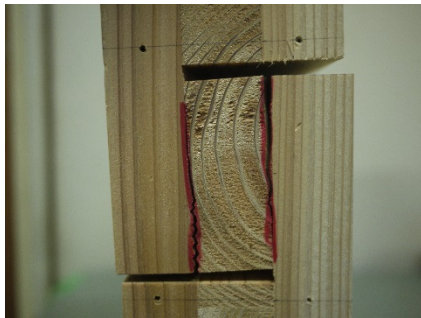
図 7.3.2 試験体幅 b と高さ h

7.4 実験結果

7.4.1 破壊性状

ここに写真 7.4.1 を参照し、破壊性状を書く。

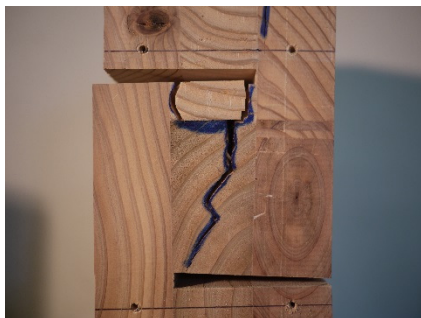
また、各繊維傾斜角のスリット間における年輪傾斜角と破壊性状を表 7.4.1 に示した。年輪傾斜角は、年輪接線が水平のものを 0 度とし、45 度のものを 45 度、鉛直のものを 90 度としたが、年輪傾斜角と破壊性状に相関関係は見受けられなかった。



接着層破壊



ラミナ内部破壊



スリット間の挽板境界破壊

写真 7.4.1 主な破壊性状

表 7.4.1 スリット間の年輪傾斜角と各破壊性状

RS0	年輪傾斜角						破壊性状						
	0度		45度		90度		接着層破壊		ラミナ内部		挽板境界		
	S1側	S2側	S1側	S2側	S1側	S2側	S1側	S2側	S1側	S2側	S1側	S2側	
1					○	○	○					-	-
2					○	○				○		-	-
3					○	○	○					-	-
4					○	○				○		-	-
5		○					○					-	-
6					○	○	○					-	-
7					○	○	○					-	-
8					○	○	○					-	-
9				○	○		○					-	-
10					○	○	○					-	-

RS15	年輪傾斜角						破壊性状					
	0度		45度		90度		接着層破壊		ラミナ内部		挽板境界	
	S1側	S2側	S1側	S2側	S1側	S2側	S1側	S2側	S1側	S2側	S1側	S2側
1	◎	○					○					
2	◎			○			○					
3				○	○		○					
4		◎	○				○					
5	◎			○			○					○
6		○			○		○					○
7		○		○	○		○					○
8		○		○	○		○					○
9				○	○		○					
10		○			○		○					

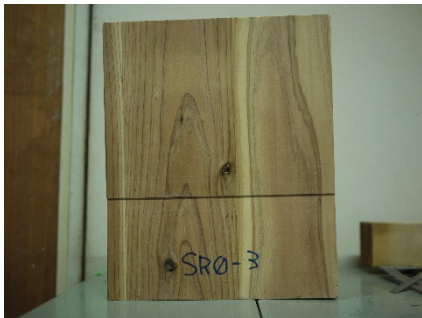
※◎は、髄あり

RS30	年輪傾斜角						破壊性状					
	0度		45度		90度		接着層破壊		ラミナ内部		挽板境界	
	S1側	S2側	S1側	S2側	S1側	S2側	S1側	S2側	S1側	S2側	S1側	S2側
1			○	○			○					
2	○			○			○					
3		○	○				○					
4	○						○		○			○
5		○			○	○	○					
6			○	○			○					
7	○			○			○					
8			○	○			○					
9		○	○				○					
10			○	○			○		○			

RS45	年輪傾斜角						破壊性状					
	0度		45度		90度		接着層破壊		ラミナ内部		挽板境界	
	S1側	S2側	S1側	S2側	S1側	S2側	S1側	S2側	S1側	S2側	S1側	S2側
1				○	○		○					○
2				○	○		○			○		○
3	○	○					—	○	—		—	
4			○	○			○	○				
5				○	○		○	○				
6				○	○		○			○		
7				○	○			—		—		—
8		○		○	○			○				
9				○	○		○	—		—		—
10				○	○		○	—		—		—

各試験体の代表的な破壊性状

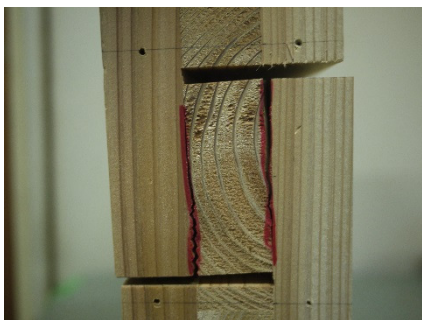
RS0 (繊維傾斜角 0 度)



試験後 亀裂なし(表側)



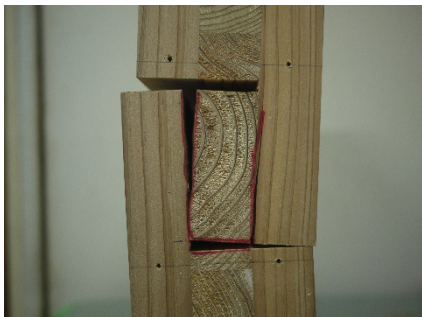
試験後 亀裂なし(表側)



接着面に沿って亀裂(S2)



直行層内部 45° 方向に亀裂(S2)



接着面に沿って亀裂(S1)



直行層内部 45° 方向に亀裂(S1)



試験後 亀裂なし(裏側)



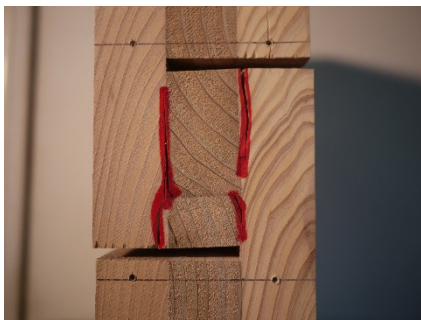
試験後 亀裂なし(裏側)

RS15 (繊維傾斜角 15 度)

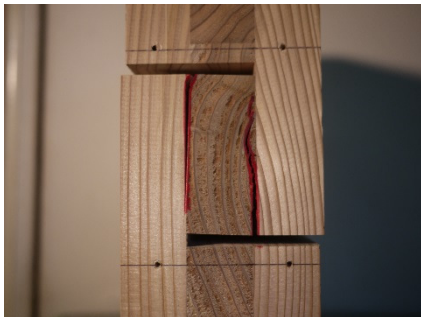
破壊性状



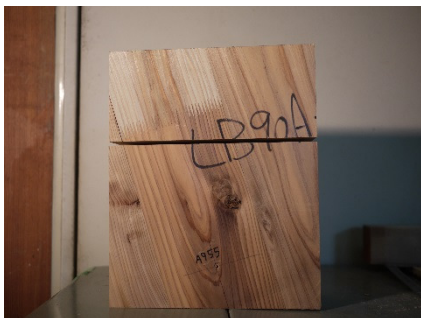
試験後 亀裂なし(表側)



接着面に沿って亀裂(CH2 側)



接着面に沿って亀裂(CH1 側)

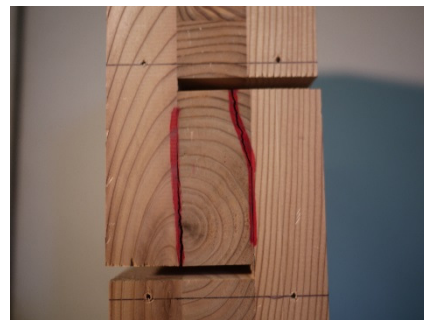


試験後 亀裂なし(裏側)

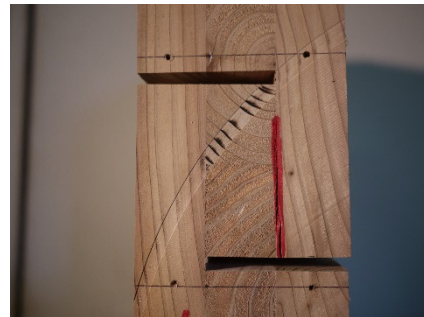
破壊性状



試験後 ラミナ幅はぎ部亀裂(表側)



亀裂なし(CH2 側)



接着面に沿って亀裂(CH1 側)



試験後 (裏側)

RS30 (繊維傾斜角 30 度)

破壊性状



試験後 ラミナ幅はぎ部亀裂(表側)

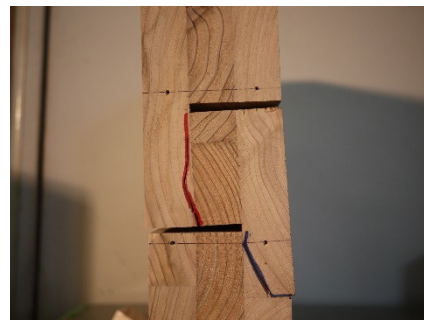
破壊性状



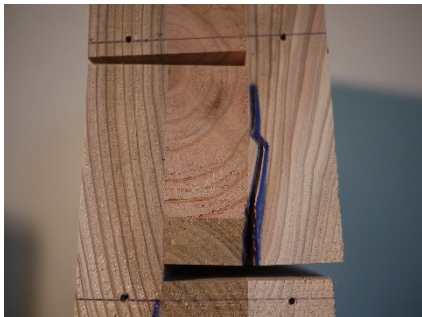
試験後 ラミナ幅はぎ部亀裂(表側)



接着面に沿って亀裂(CH2 側)



接着面に沿って亀裂(CH2 側)



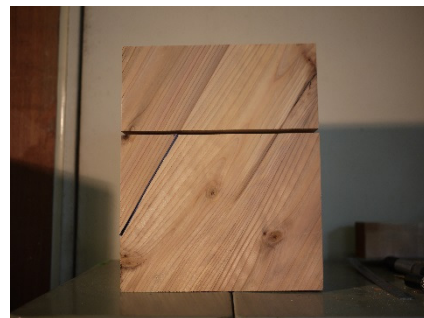
接着面に沿って亀裂(CH1 側)



接着面, 45 度面に沿って亀裂(CH1 側)



試験後 ラミナ幅はぎ部亀裂(裏側)



試験後 ラミナ幅はぎ部亀裂(裏側)

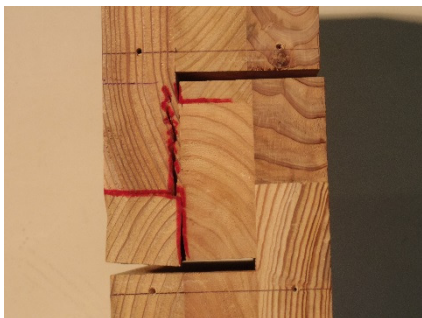
RS45 (繊維傾斜角 45 度)



試験後 亀裂なし(表側)



試験後 亀裂なし(表側)



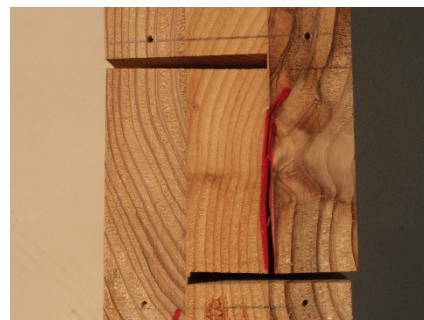
接着面に沿って亀裂(CH2 側)



ひき板境目にて亀裂(CH2 側)



接着面に沿って亀裂(CH1 側)



接着面に沿って亀裂(CH1 側)



試験後 亀裂なし(裏側)



試験後 亀裂なし(裏側)

7.4.2 ローリングシア応力度

各試験体の特性値の平均を表 7.4.2 に示した。また、最大ローリングシア応力度を試験体の最外層の繊維傾斜角ごとに図 7.4.2 に示した。これらの最大値/最小値=1.14 であり、繊維傾斜角による耐力の差はあまりみられなかったが、繊維傾斜角が 0 度に近いとばらつきが大きい傾向にあった。なお、 σ_F は、最大ローリングシア応力度 τ_r から算出した 5% 下限値である。

表 7.4.2 各試験体の特性値平均

試験体名	P_{max} [kN]	θ_{pmax} [rad]	τ [N/mm ²]	σ_F [N/mm ²]	K [kN/rad]
SR0	21.28	0.061	1.43	0.69	433
SR15	23.98	0.060	1.61	0.80	508
SR30	24.43	0.071	1.65	1.23	458
SR45	23.11	0.095	1.56	1.15	364
平均	23.20	0.072	1.56	-	441

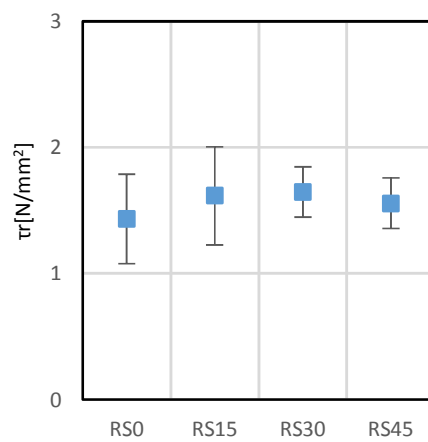
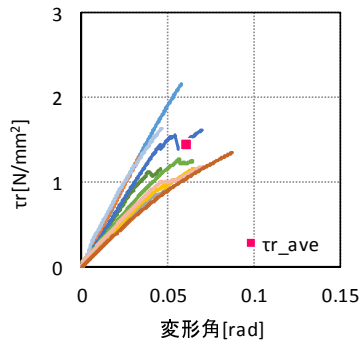


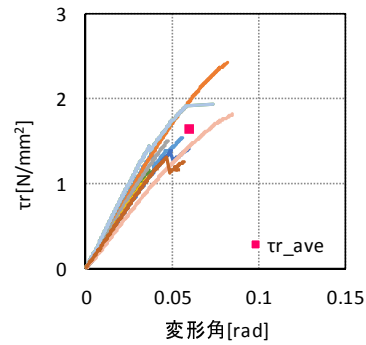
図 7.4.2 ローリングシア応力度

Pmax	θ_{pmax}	τ_r	K
[kN]	[rad]	[N/mm ²]	[kN/rad]
21.28	0.061	1.43	433



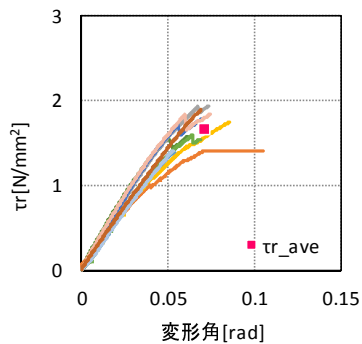
SR0 (0 度)

Pmax	θ_{pmax}	τ_r	K
[kN]	[rad]	[N/mm ²]	[kN/rad]
23.98	0.060	1.61	508



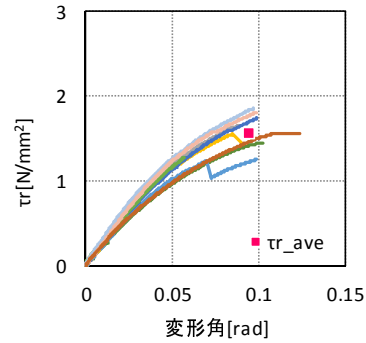
SR15 (15 度)

Pmax	θ_{pmax}	τ_r	K
[kN]	[rad]	[N/mm ²]	[kN/rad]
24.43	0.071	1.65	458



SR30 (30 度)

Pmax	θ_{pmax}	τ_r	K
[kN]	[rad]	[N/mm ²]	[kN/rad]
23.11	0.095	1.56	364



SR45 (45 度)

図 7.4.3 各繊維傾斜角度のローリングシア応力度

表 7.4.3 各特性値

RS0						
試験体名	Pmax	θ_{pmax}	τ_r	σ_F	K	
	[kN]	[rad]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[kN/rad]	
RS0	1	19.95	0.087	1.35	-	288
	2	17.60	0.070	1.19	-	325
	3	24.34	0.047	1.64	-	621
	4	18.99	0.057	1.27	-	355
	5	23.97	0.070	1.61	-	487
	6	17.24	0.065	1.16	-	339
	7	13.85	0.052	0.93	-	294
	8	27.59	0.057	1.85	-	590
	9	31.96	0.058	2.14	-	583
	10	17.27	0.046	1.16	-	449
平均	21.28	0.061	1.43	0.69	433	
標準偏差	5.28	0.01	0.35	-	123	
変動係数	24.81	19.56	24.75	-	28.5	

※試験体数10体 下限許容限界値を求めるための係数K=2.104

RS30

試験体名	Pmax [kN]	θ pmax [rad]	τ_r [N/mm ²]	σ_F [N/mm ²]	K [kN/rad]	
RS30	1	27.89	0.07	1.88	-	428
	2	27.11	0.07	1.82	-	505
	3	20.82	0.05	1.41	-	430
	4	23.50	0.06	1.58	-	456
	5	26.33	0.07	1.77	-	503
	6	25.67	0.09	1.73	-	409
	7	28.61	0.07	1.93	-	514
	8	20.78	0.11	1.40	-	377
	9	20.33	0.05	1.36	-	429
	10	23.25	0.06	1.57	-	526
平均	24.43	0.07	1.65	1.23	458	
標準偏差	2.95	0.01	0.20	-	48	
変動係数	12.08	20.75	12.13	-	10.6	

※試験体数10体 下限許容限界値を求めるための係数K=2.104

RS15

試験体名	Pmax [kN]	θ pmax [rad]	τ_r [N/mm ²]	σ_F [N/mm ²]	K [kN/rad]	
RS15	1	19.45	0.05	1.31	-	443
	2	26.97	0.08	1.81	-	397
	3	28.65	0.07	1.94	-	616
	4	28.65	0.07	1.92	-	616
	5	21.02	0.06	1.41	-	457
	6	16.18	0.04	1.09	-	470
	7	22.39	0.05	1.51	-	503
	8	36.02	0.08	2.43	-	544
	9	23.00	0.06	1.54	-	551
	10	17.52	0.04	1.18	-	484
平均	23.98	0.06	1.61	0.80	508	
標準偏差	5.77	0.02	0.39	-	69	
変動係数	24.05	27.72	24.00	-	13.6	

※試験体数10体 下限許容限界値を求めるための係数K=2.104

RS45

試験体名	Pmax [kN]	θ pmax [rad]	τ_r [N/mm ²]	σ_F [N/mm ²]	K [kN/rad]	
RS45	1	23.08	0.124	1.56	-	309
	2	26.70	0.098	1.79	-	408
	3	27.45	0.097	1.85	-	415
	4	18.99	0.057	1.27	-	355
	5	25.74	0.099	1.73	-	359
	6	22.94	0.085	1.54	-	388
	7	24.35	0.088	1.65	-	412
	8	21.95	0.096	1.48	-	329
	9	18.54	0.099	1.24	-	349
	10	21.36	0.103	1.44	-	318
平均	23.11	0.095	1.56	1.15	364	
標準偏差	2.87	0.02	0.19	-	37	
変動係数	12.43	16.76	12.49	-	10.3	

※試験体数10体 下限許容限界値を求めるための係数K=2.104

7.5 まとめ

以上、実験結果より、試験体角度が変化しても、 τ_r に与える影響は小さいと判断し、全試験体 40 体の最大ローリングシア応力度 τ_r から算出した 5% 下限値をローリングシア強度 F_r として表 7.5.1 に示した。

表 7.5.1 最大ローリングシア応力度から求めたローリングシア強度 F_r

5% 下限値	
平均	1.56
標準偏差	0.19
σF [N/mm ²]	1.21

※合計40体に対応した係数 $K=1.834$

$$F_r = 1.21 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

参考文献

- 1) 岡部実, 安村基, 小林研治: スギ CLT パネル層内せん断力推定, 木材学会誌 60(3), 169-176(2014)
- 2) 小松幸平: 集成材剛節骨組構造 交差重合 接着接合 強度設計(第一報), 林産試月報 No.401, 1985年, 6月号
- 3) 小松幸平: 集成材剛節骨組構造 交差重合 接着接合 強度設計(第二報), 林産試月報 No.402, 1985年, 7月号