

炭素繊維複合強化集成材の開発

－ 接合部に関する要素実験（第2報）※ －

柴田直明・橋爪丈夫

（独）建築研究所からの委託業務「CF補強集成材の性能に関する調査」（2004年度）を従来からの産学官協力体制で実施し、次の結果を得た。（1）CFシート積層板自体の面圧強さは、CF配向を試験体の長さ方向のみとしても、木材より著しく大きかった。直交方向のCF配向シートを追加したり、ピン穴からの端距離を大きくしたりすると、より優れた性能を示した。（2）鋼板添板ラグスクリュウ接合部の一面せん断強さも、接合部のみのCF補強により、大幅に向上した。また、木材と同程度の接合性能でよければ、ラグスクリュウ間隔を1/2近くまで短縮し、接合部のコンパクト化を図ることも可能であると思われた。（3）部分横圧縮強さ（材中間部及び材端部載荷）も、接合部付近のCF補強のみで、大きく向上した。

キーワード：木質ハイブリッド、炭素繊維強化、面圧強さ、一面せん断強さ、部分横圧縮強さ

1 緒言

炭素繊維複合強化集成材の利用に向けては、接合部の設計に必要な各種のデータの蓄積が急務である。そこで、2003年度の各種試験¹⁻⁷⁾に引き続き、本実験では次の3項目について、より詳細な検討を行った⁸⁻¹¹⁾。なお、本年度は接合部のみの炭素繊維補強を想定した試験設計とした。

(1) 炭素繊維シート積層板の面圧強さ

(2) 炭素繊維補強集成材の一面せん断強さ

(3) 炭素繊維補強集成材の部分横圧縮強さ

以下、本報では上記(1)～(3)を次ページ以降の2～4に記す。これらにおいては、炭素繊維関係の用語を表1-1のように限定して使用する。

また、図・表・写真の番号は2～4別に、参考文献は最後にまとめて記す。

表 1-1 本報におけるCF関係の用語と、その製法・性能等¹²⁻¹⁶⁾

用語	用語の内容、製法、性能等
CF	炭素繊維 (Carbon Fiber) 自体。ここでは、東邦テナックス(株)製ベスファイト HTA-12K を指す。 本CFの引張強度：4050 N/mm ² ，引張弾性率：236 kN/mm ² ，密度：1.77 g/cm ³
CFシート	上記のCFをすべて長さ方向に配向させた 300g/m ² のシート状CFに対し、マトリックス樹脂としてリグナイト(株)製レゾール型フェノール樹脂 AH343/D5 を含浸させた上で、シートの両面をリグナイト(株)製フェノール樹脂含浸紙 PFP2A で挟み、熱圧硬化させて作製した専用のシート単体。 CFシート1枚当りの厚さ：約0.7 mm，CFの体積含有率：約24 %
CFシート積層板	複数枚の上記CFシートを、木材用のレゾルシノール樹脂で積層接着して作製した板状のもの
CFRG	CF補強集成材 (Carbon Fiber Reinforced Glulam)。集成材の最外層表面（全面または一部）に、木材用のレゾルシノール樹脂を用い、上記CFシートを任意の枚数積層接着したもの
NRG	未補強集成材 (Non-Reinforced Glulam)

※ 本研究は、（独）建築研究所が実施した「木質複合建築構造技術の開発フォローアップ」（2004～2005年度）の中で、同研究所からの委託業務「CF補強集成材の性能に関する調査」（2004年度）として行われた。本業務は、（独）建築研究所の山口修由氏の指導を受け、従来からの下記メンバー（敬称略）が担当した。京都大学名誉教授 石原茂久； 齋藤木材工業 齋藤健、齋藤潔； 東邦テナックス 遠藤善博、笠井秀雄； アイカ工業 月東秀夫； リグナイト 井出勇、樋口尚登； 長野県林業総合センター 橋爪丈夫、柴田直明

2 CFシート積層板の面圧強さ

2003年度の試験では、CFシートの6枚積層板（CF配向はすべて試験体の長さ方向）を基材とし、その片側または両側にCF配向を直交させたシートを1～2枚ずつ追加接着して、それらの面圧強さを求めた。その結果、スギ材と比較すると基材のみでも大幅な強度改善が見られた。そして、直交シートを追加することにより、さらに大幅な向上が認められた^{1-3,6,7)}。

また、試験方法としてはJIS K 7080「炭素繊維強化プラスチックの面圧強さ試験方法」（1991年）[以下、JISと表記]のB法を基本とし、試験体の両端に穴をあけて引張る応用型を提案し、その有効性を示した^{1-3,6,7)}。

そこで、本年度は効率的な接合部の補強条件を見出すための基礎実験として、端距離を変えた試験を設定して、それらを比較・検討した^{8,10,11)}。

2.1 試験の方法

2.1.1 試験体の作製

表1-1のCFシートを基本単位とし、同表のCFシート積層板を作製した。

試験体のCFシート構成を表2-1に、試験体の寸法を図2-1に示す。

コントロールのスギ及びカラマツ板はすべて板目板とし、一般的な対称異等級構成集成材の最外層ラミナを想定して、スギはL80以上、カラマツはL125以上とした。そして、各試験体に原則として晩材部が1層含まれるように留意しつつ、プレーナによって5.0mm厚に仕上げた。また、この際には晩材率が平均的な値になるよう、年輪幅が約5mmの部分を選んだ。

すべての試験体の作製において、鋸断には木材用のチップソーを用いた[写真2-1の左]。試験体の上下の穿孔には、直径8.0mmの木工用ドリルを使用した[写真2-1の右]。

試験体は20℃、相対湿度65%の恒温恒湿室内で48時間以上養生した後、同室内で試験に供した。なお、実際の試験においては、16日以上養生した。

2.1.2 試験方法

試験方法は、図2-1および前報⁷⁾の写真2-1と同様にした。試験体の寸法測定も、前報⁷⁾の図2-2

に従った。

引張用のピンには、φ8mmのステンレス製ボルト（ネジ加工は先端部のみのもの）を使用した。また、面圧強さ試験用治具[図2-1]の内側の間隔は約8mmとした。

本試験はJISのB法に準じているため、局部座屈を防止するカラーは省略した。

試験機には、前報⁷⁾と同様にミネベア(株)製万能試験機TCM-5000C(最大荷重5000kgf)を使用し、荷重速度は1mm/minに設定した。

変位計(計3個)には(株)東京測器研究所製高感度変位計CDP-50を、データロガーには同所製デジタルひずみ測定器TC-31K(CSW-5A-05付)を使用した。

変位計1個は、図2-1のアーム下降量を測定した。残りの変位計2個は、試験体中央部以下の伸びを測定した[前報⁷⁾の写真2-1]。ここでは、試験体中央部の両側に両面テープとクリップでL型金物を固定し、対角線上の2点で変位を測定した。

なお、データロガーへのデータ取り込みは、1回/秒に設定した。

結果の評価に当っては、前報⁷⁾と同様、まずJISのB法に従って次式から面圧強さを求めた。

$$\text{面圧強さ} = \text{最大荷重} / (\text{ピン径} \times \text{試験体厚さ})$$

次いで、「2002年 枠組壁工法建築物構造計算指針」(発行：(社)日本ツーバイフォー建築協会)[以下、「指針」と表記]に従い、面材のめり込みの試験終局強度と試験剛性を求めた[前報⁷⁾の図2-3]。めり込みの試験終局強度は、上記の式の「最大荷重」を「終局耐力直線の荷重値(前報⁷⁾の図2-3の「荷重P」)に代えたものである。これらの算出には、F-BASIC V6.3による自作プログラムを用いた。

2.2 結果と考察

2.2.1 試験体の経時変化と荷重－変位曲線

荷重と各種変位の経時変化については、図2-2に一例を示す。上下の穴で局所的な破壊が徐々に進むため、それぞれの穴における変位の進行は必ずしも均等ではなかった。

全試験体の荷重－変位曲線は、図2-3にまとめて示す。図の横軸は、載荷開始後のアーム下降量(全変位)とした。

次に、試験終了時の破壊形状を、写真 2-2 に示す。

CF060-7d では、荷重-変位曲線の急な立ち上がりした後、上下の穿孔部で面圧破壊が徐々に進行し、最終的にはいずれかの穿孔部でせん断抜けを生じた [図 2-3, 写真 2-2 の左上]。一般に、最終的なせん断抜けの直前に、最大荷重をとった。

CF060-5d では、荷重-変位曲線の急な立ち上がりした後、上下の穿孔部で面圧破壊が徐々に進行し、最終的にはいずれかの穿孔部で長さ方向の割裂を生じた [図 2-3, 写真 2-2 の右上]。一般に、最終的な割裂の直前に、最大荷重をとった。

CF060-3d では、荷重-変位曲線の急な立ち上がりの途中で、いずれかの穿孔部で長さ方向の割裂を生じた [図 2-3]。

CF161-7d では、荷重-変位曲線の急な立ち上がりした後、上下の穿孔部で面圧破壊と直交シートの剥離が徐々に進行し、最終的にはいずれかの穿孔部でせん断抜けを生じた [図 2-2, 図 2-3, 写真 2-2 の左下]。一般に、最終的なせん断抜けの直前に、最大荷重をとった。

CF161-5d や CF161-3d でも、CF161-7d と同様の荷重-変位曲線を示した [図 2-3]。なお、CF161 シリーズでは、3d においても、塑性域が認められた。ただし、端距離が短くなるに従って塑性域が短くなる点は、CF060 シリーズと同様であった。

スギ-7d, スギ-5d 及びスギ-3d では、荷重-変位曲線の急な立ち上がりした後、上下の穿孔部で面圧破壊が徐々に進行し、最終的にはいずれかの穿孔部で長さ方向の割裂を生じた [図 2-3]。一部には、せん断抜けも認められた [写真 2-2 の右下]。ここでも、端距離が短くなるに従って塑性域が短くなった。

カラマツ-7d, カラマツ-5d 及びカラマツ-3d でも、上記のスギと同様の傾向が認められた [図 2-3]。

2.2.2 面圧強さ及びめり込み試験終局強度等

試験体ごとの各種データと、JIS の B 法による面圧強さを、付表 2-1(1/3)～(2/3)に示す。また、それらの主たる部分の平均値を、表 2-2 に示す。

木製試験体の全乾法による含水率は、スギで平均 9.9 %、カラマツで平均 11.6 %であった [表 2-2]。

また、用いたピン (ボルトのネジ切りのない部分) の直径は、実測値で 7.80 及び 7.81 mm であった [付表 2-1(2/3)]。JIS による面圧強さの算出に当っては、最大荷重をとった直後の破壊が上部・下部のいずれか明らかな場合 [付表 2-1(2-3)]は、そちら側のピン (ボルト) 直径と試験体厚さを用いた。上部・下部の識別が困難な場合は、それぞれの平均値を用いた。

表 2-2 の面圧強さの平均値で比較すると、CF161 > CF060 > カラマツ > スギであり、またそれぞれにおいて 7d > 5d > 3d となった。これらの差は、かなり顕著なものであった。

なお、本試験では主として CF161-7d と CF161-5d において、部分的に剥離した直交層が面圧強さ試験用治具 [図 2-1] の内側に密着した (特に、CF161-7d で顕著)。CF161-7d については、試験終了後にも試験体を試験機にセットしたままにし、ピン 2 本のみを抜いた状態にして 5 mm/min で再度引張ってみた。その結果、最大荷重値として試験体 171 で 1.3 kN 前後、172 で 2.2 kN 程度、173 で 1.6 kN 程度が示された。よって、試験体の剥離部分が治具内側に強く密着した場合には、荷重値が若干過大評価になっている可能性がある。ここで、面圧強さ試験用治具 [図 2-1] の内側の間隔は、試験後の実測値で上部が 8.16 mm, 下部が 8.74 mm であった。

次に、「指針」の P. 236～237 と P. 257 による「めり込みの試験終局強度」等 [前報⁷⁾の図 2-3]を、表 2-2 および付表 2-1(3/3)に示す。

ここで、本試験法では上下 2 つの穴でめり込みが生じているため、前報⁷⁾の図 2-3 の曲線の傾き (「指針」の直線①に相当する傾き)を 2 倍にした値をめり込み試験剛性とした。

めり込み試験終局荷重の欄 [付表 2-1(3/3)]には、「指針」の直線①と③の交点の座標を示した。

なお、付表 2-1(3/3)において空欄になっているところは、「指針」[前報⁷⁾の図 2-3]による解析ができなかったことを示す。

めり込み試験終局強度も、傾向としては面圧強さと同様であった [表 2-2]。

最後に、表 2-2 に記載した解析結果を、図 2-4 にまとめて示した。

表 2-1 本試験で作製した試験体の種類と試験体記号^{※1)}等

CFシート積層板の層構成 ^{※2)} ・樹種			記号	端距離 (d : ピン径 8 mm)		試験体 No.
直交(表層)	平行(内層)	直交(表層)				
0枚	6枚	0枚	CF060	7d	071, 072, 073	
				5d	051, 052, 053	
				3d	031, 032, 033	
1枚	6枚	1枚	CF161	7d	171, 172, 173	
				5d	151, 152, 153	
				3d	131, 132, 133	
スギ板目板 (5.0 mm 厚)			スギ	7d	271, 272, 273	
				5d	251, 252, 253	
				3d	231, 232, 233	
カラマツ板目板 (5.0 mm 厚)			カラマツ	7d	371, 372, 373	
				5d	351, 352, 353	
				3d	331, 332, 333	

※1) 試験体記号は、表中の「記号」－「端距離」で表記する。

※2) CFシートのCF配向(直交, 平行)は、試験体の長さ方向を基準にして表示した。

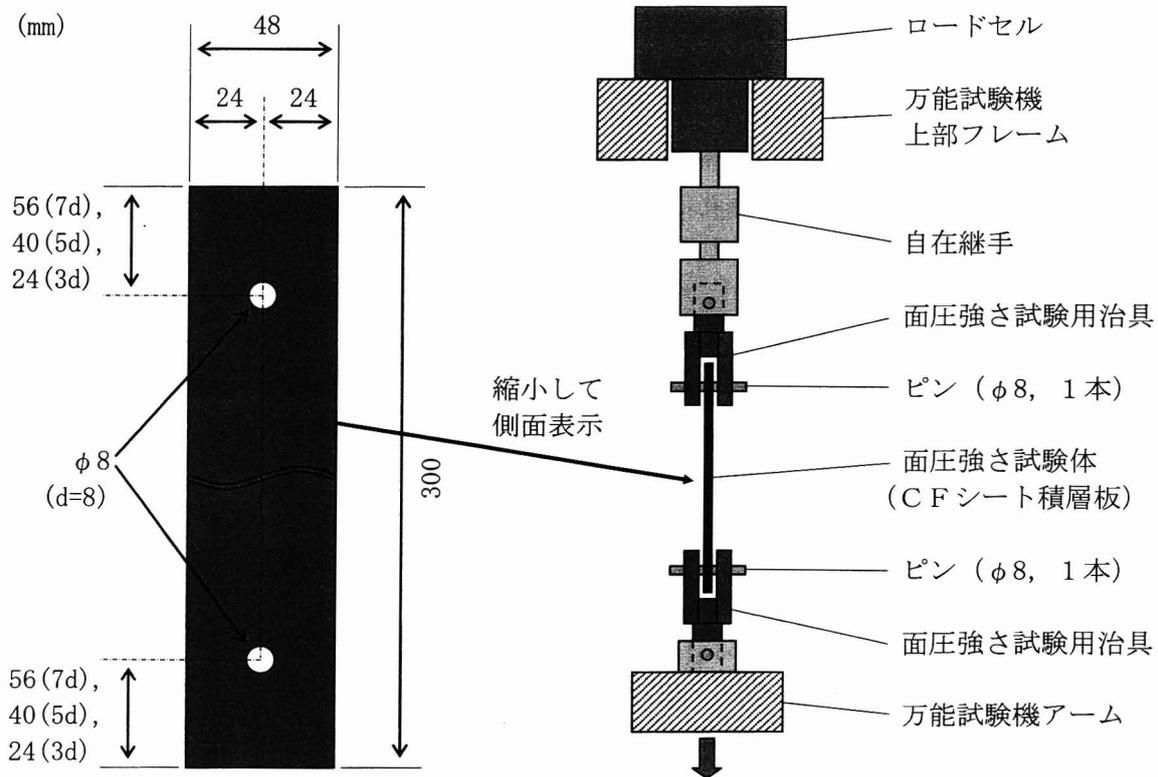


図 2-1 試験体寸法と試験の方法 (模式図)

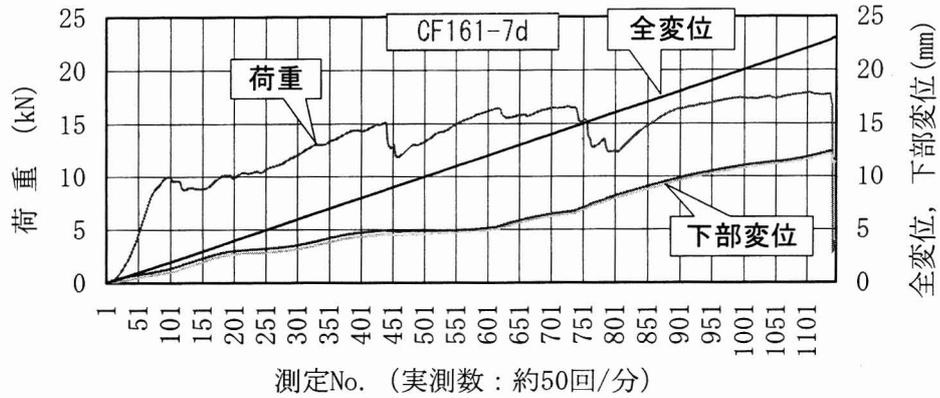


図 2-2 荷重と各種変位の経時変化の一例 (CF161-7d の No. 172)

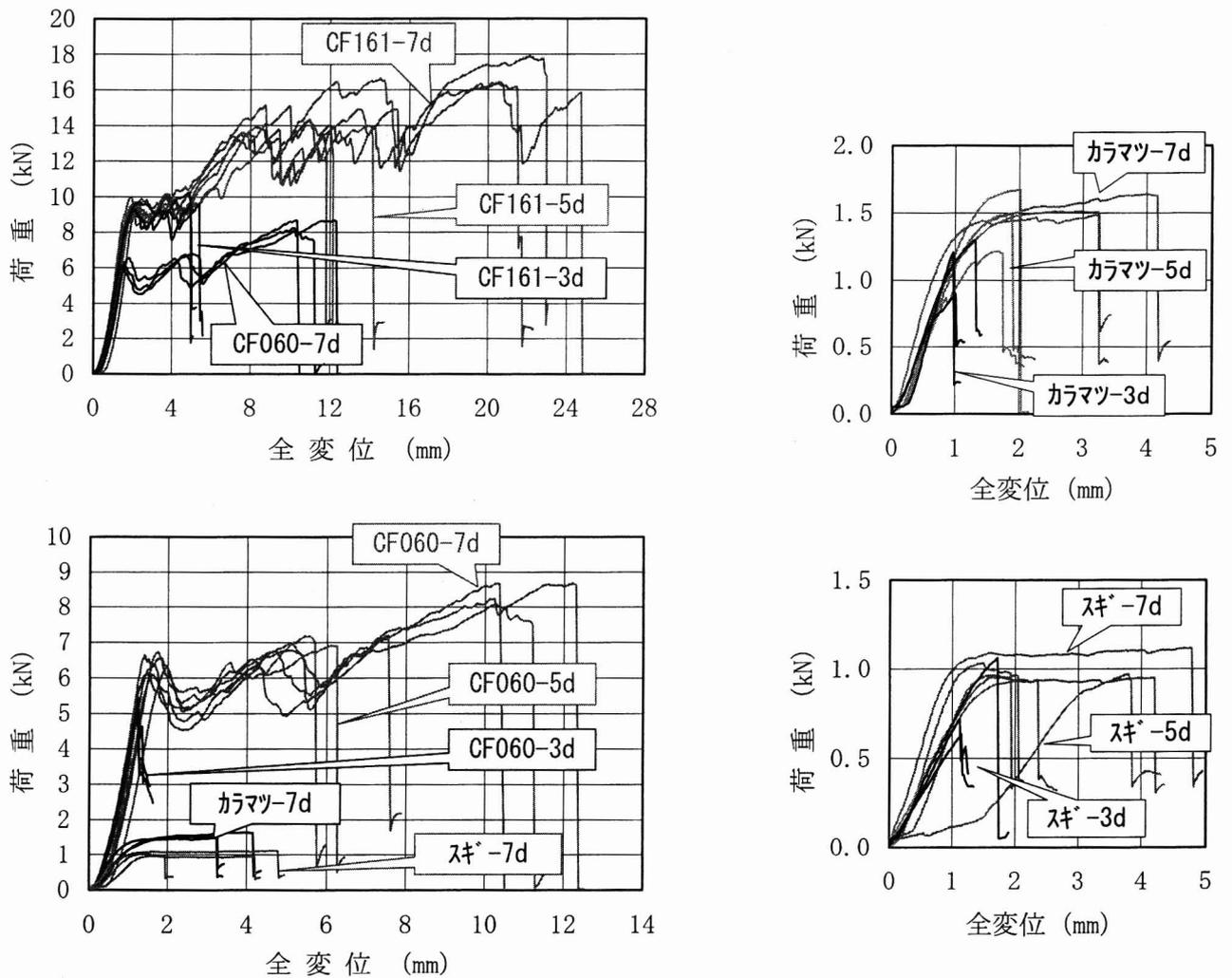


図 2-3 全試験体の荷重-変位曲線 (試験体記号別の比較)

左下のグラフ : 左上のグラフの左下 1/4 部分を拡大し, CF060 シリーズ等を追加して表示した。

右側のグラフ : 「カラムツ」及び「スギ」シリーズについて, 5d, 3d の曲線も追加して表示した。

表 2-2 試験体の各種測定値と試験結果の平均値

試験体 記号	厚さ (mm)	密度 (g/cm ³)	含水率 (%)	面圧強さ (N/mm ²)	めり込み 試験剛性 (kN/mm)	めり込み 試験終局強度※ (N/mm ²)
CF060-7d	4.45	1.330		245	10.08	190
CF060-5d	4.42	1.357		207	9.27	181
CF060-3d	4.46	1.345		152	8.41	—
CF161-7d	6.02	1.332		360	15.20	284
CF161-5d	5.94	1.357		309	13.59	244
CF161-3d	6.01	1.332		209	10.94	196
スキ-7d	5.03	0.343	9.9	26.4	1.94	(27.0)
スキ-5d	5.04	0.340	9.9	24.5	1.09	(23.3)
スキ-3d	5.00	0.363	9.8	20.6	1.36	(19.0)
カラマツ-7d	5.01	0.503	11.5	39.7	3.39	37.1
カラマツ-5d	5.02	0.512	11.6	37.3	2.61	35.1
カラマツ-3d	5.08	0.522	11.6	28.8	2.81	(25.6)

※ (): 2体の平均値 (1体算出不可), — : 3体とも算出不可

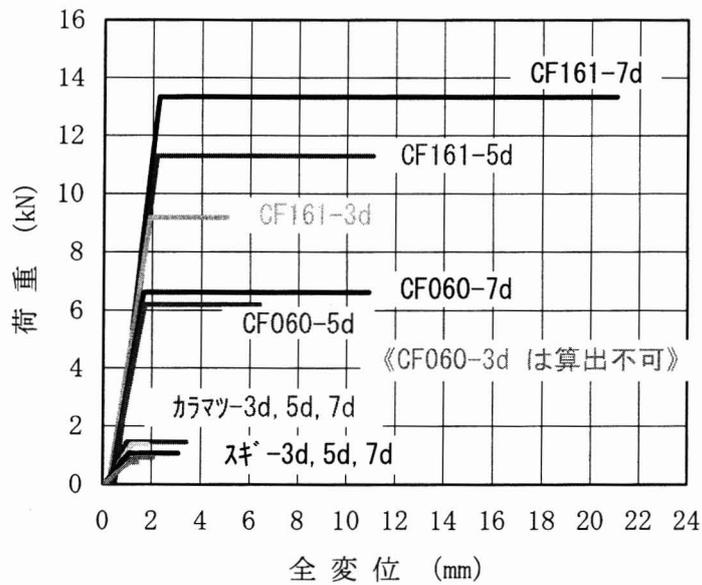


図 2-4 全試験データの「指針」による評価結果

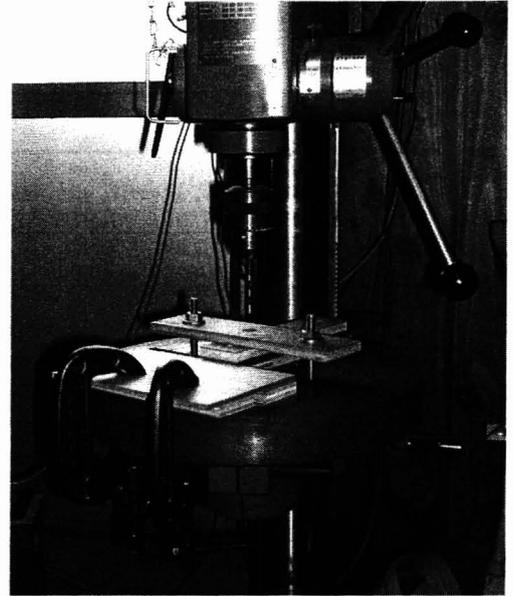
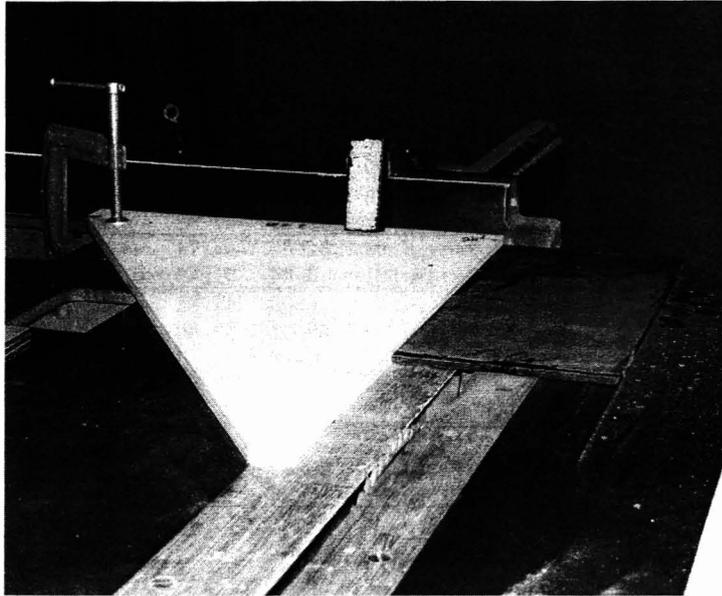


写真 2-1 木工用のチップソー及びドリルによるCFシート積層板の鋸断・穿孔

鋸断時には、試験体幅を一定にするため、定規を使用した。穿孔時には、試験体が浮かないよう、合板で押えた。

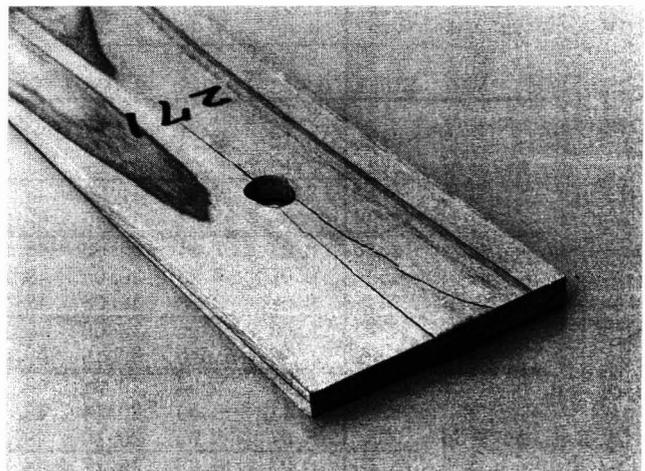
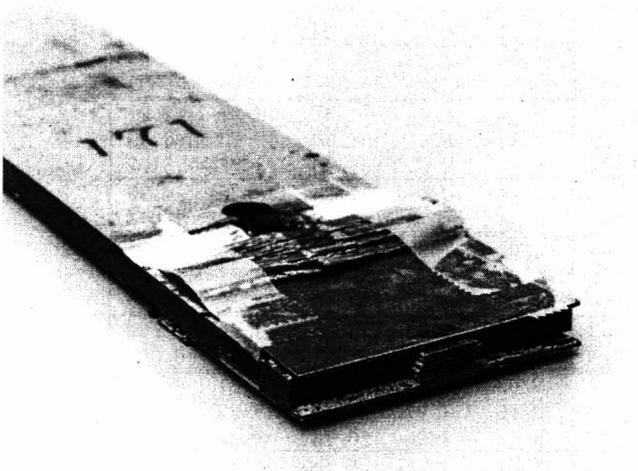
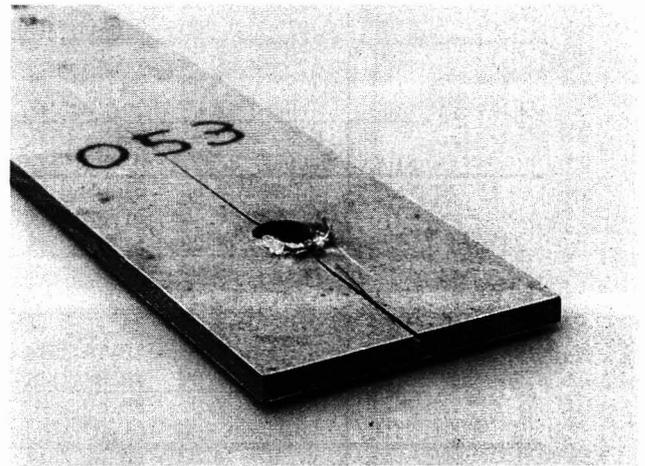
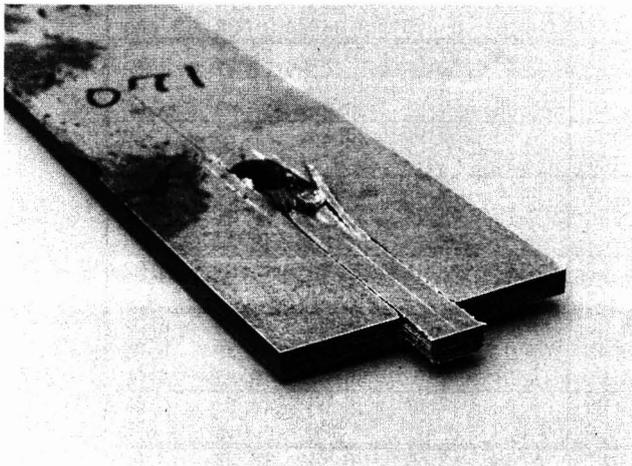


写真 2-2 各種試験体の最終破壊形状の一例

左上：CF060-7d のせん断抜け
左下：CF161-7d のせん断抜け

右上：CF060-5d の割裂
右下：ｽｷ-7d のせん断抜け

付表 2-1(1/3) 試験体の各種測定値と試験結果のまとめ

試験体 記号	試験体 No.	試験体上部(mm)					試験体下部(mm)				
		穴長	穴幅	端末長	幅	厚	穴長	穴幅	端末長	幅	厚
CF060-7d	071	8.01	7.98	52.07	47.86	4.44	8.02	8.00	52.01	47.87	4.46
	072	7.98	7.97	52.03	47.64	4.49	7.98	7.96	52.08	47.46	4.46
	073	7.97	7.97	52.07	47.87	4.47	7.98	7.97	52.05	47.88	4.35
	平均	7.99	7.97	52.06	47.79	4.47	7.99	7.98	52.05	47.74	4.42
	STDEV	0.021	0.006	0.02	0.130	0.025	0.023	0.021	0.04	0.240	0.064
CF060-5d	051	7.97	7.96	36.03	47.65	4.40	7.98	7.97	36.06	47.81	4.37
	052	7.97	7.96	36.03	47.83	4.46	7.99	7.98	36.07	47.80	4.39
	053	7.97	7.97	36.04	47.65	4.49	7.98	7.98	36.10	47.84	4.40
	平均	7.97	7.96	36.03	47.71	4.45	7.98	7.98	36.08	47.82	4.39
	STDEV	0.000	0.006	0.006	0.104	0.046	0.006	0.006	0.021	0.021	0.015
CF060-3d	031	7.94	7.92	20.29	47.82	4.46	7.94	7.92	20.30	47.85	4.47
	032	7.95	7.90	20.30	47.82	4.45	7.94	7.93	20.19	47.82	4.43
	033	7.95	7.93	20.27	47.91	4.51	7.96	7.92	20.26	47.85	4.45
	平均	7.95	7.92	20.29	47.85	4.47	7.95	7.92	20.25	47.84	4.45
	STDEV	0.006	0.015	0.015	0.052	0.032	0.012	0.006	0.056	0.017	0.020
CF161-7d	171	7.95	7.93	52.07	47.74	6.16	7.96	7.94	52.06	47.73	5.94
	172	7.96	7.95	52.04	47.73	5.91	7.97	7.94	52.07	47.74	6.00
	173	7.96	7.94	52.08	47.80	6.10	7.97	7.96	52.04	47.78	6.02
	平均	7.96	7.94	52.06	47.76	6.06	7.97	7.95	52.06	47.75	5.99
	STDEV	0.006	0.010	0.02	0.038	0.131	0.006	0.012	0.02	0.026	0.042
CF161-5d	151	7.96	7.92	36.13	47.73	6.04	7.95	7.92	36.10	47.71	5.88
	152	7.96	7.92	36.09	47.73	5.82	7.96	7.91	35.98	47.72	5.83
	153	7.98	7.92	36.05	47.79	6.09	7.98	7.94	36.05	47.78	5.95
	平均	7.97	7.92	36.09	47.75	5.98	7.96	7.92	36.04	47.74	5.89
	STDEV	0.012	0.000	0.040	0.035	0.144	0.015	0.015	0.060	0.038	0.060
CF161-3d	131	7.93	7.92	20.26	47.75	6.13	7.93	7.91	20.31	47.76	5.99
	132	7.93	7.89	20.37	47.73	5.86	7.91	7.89	20.16	47.75	5.97
	133	7.94	7.93	20.21	47.79	6.08	7.95	7.91	20.26	47.82	6.02
	平均	7.93	7.91	20.28	47.76	6.02	7.93	7.90	20.24	47.78	5.99
	STDEV	0.006	0.021	0.082	0.031	0.144	0.020	0.012	0.076	0.038	0.025
ｽｷ-7d	271	8.11	8.08	51.98	48.28	5.02	8.15	8.12	51.94	48.29	4.98
	272	8.19	8.12	51.92	48.32	5.04	8.15	8.13	51.93	48.31	5.02
	273	8.18	8.08	52.01	48.31	5.04	8.22	8.11	51.90	48.34	5.05
	平均	8.16	8.09	51.97	48.30	5.03	8.17	8.12	51.92	48.31	5.02
	STDEV	0.044	0.023	0.046	0.021	0.012	0.040	0.010	0.021	0.025	0.035
ｽｷ-5d	251	7.97	7.96	36.12	48.28	5.03	7.99	7.96	36.04	48.31	5.04
	252	8.02	7.93	36.10	48.32	5.05	8.04	7.98	36.01	48.30	5.02
	253	8.05	7.99	36.08	48.29	5.07	8.04	7.97	36.07	48.32	5.00
	平均	8.01	7.96	36.10	48.30	5.05	8.02	7.97	36.04	48.31	5.02
	STDEV	0.040	0.030	0.020	0.021	0.020	0.029	0.010	0.030	0.010	0.020
ｽｷ-3d	231	8.01	8.02	20.21	48.31	4.87	8.08	7.97	20.14	48.33	5.00
	232	8.02	7.97	20.27	48.33	5.01	8.06	7.97	20.18	48.32	5.06
	233	8.08	7.97	20.17	48.29	5.03	8.04	8.01	20.20	48.32	5.05
	平均	8.04	7.99	20.22	48.31	4.97	8.06	7.98	20.17	48.32	5.04
	STDEV	0.038	0.029	0.050	0.020	0.087	0.020	0.023	0.031	0.006	0.032
ｶﾗﾏｯ-7d	371	8.17	8.12	52.02	48.23	5.04	8.14	8.04	51.97	48.27	4.97
	372	8.16	8.11	51.94	48.30	5.00	8.19	8.11	51.90	48.26	4.99
	373	8.16	8.04	51.99	48.09	5.03	8.18	8.07	51.96	48.26	5.02
	平均	8.16	8.09	51.98	48.21	5.02	8.17	8.07	51.94	48.26	4.99
	STDEV	0.006	0.044	0.040	0.107	0.021	0.026	0.035	0.038	0.006	0.025
ｶﾗﾏｯ-5d	351	8.03	7.94	36.08	48.31	5.03	8.07	7.95	36.04	48.28	5.05
	352	8.07	7.96	36.05	48.30	5.02	8.02	7.93	36.06	48.27	5.01
	353	8.08	7.98	36.06	48.08	5.00	8.06	7.96	36.10	48.18	4.99
	平均	8.06	7.96	36.06	48.23	5.02	8.05	7.95	36.07	48.24	5.02
	STDEV	0.026	0.020	0.015	0.130	0.015	0.026	0.015	0.031	0.055	0.031
ｶﾗﾏｯ-3d	331	8.07	8.04	20.08	48.18	5.17	8.03	8.01	20.08	48.31	5.09
	332	8.11	8.00	20.14	48.30	5.03	8.06	7.97	20.18	48.29	5.03
	333	8.07	8.02	20.30	48.31	5.07	8.11	7.96	20.13	48.32	5.06
	平均	8.08	8.02	20.17	48.26	5.09	8.07	7.98	20.13	48.31	5.06
	STDEV	0.023	0.020	0.114	0.072	0.072	0.040	0.026	0.050	0.015	0.030

付表 2-1 (2/3) 試験体の各種測定値と試験結果のまとめ

ボルト直径(mm)上: 7.80
 ボルト直径(mm)下: 7.81
 ボルト直径(mm)平均: 7.81
 JIS K 7080による

試験体 記号	試験体 No.	試験体 上・下部 平均 (mm)					重量 (g)	密度 (g/cm ³)	最大荷重直後 破壊部	最大荷重 (kN)	面圧強さ (N/mm ²)
		穴長	穴幅	端末長	幅	厚					
CF060-7d	071	8.02	7.99	52.04	47.87	4.45	83.79	1.321	下:せん断	8.679	249
	072	7.98	7.97	52.06	47.55	4.48	84.42	1.332	上下:面圧	8.251	236
	073	7.98	7.97	52.06	47.88	4.41	84.19	1.339	上:せん断	8.687	249
	平均	7.99	7.98	52.05	47.76	4.45	84.13	1.330		8.54	245
	STDEV	0.022	0.013	0.010	0.185	0.033	0.319	0.0091		0.25	7.5
CF060-5d	051	7.98	7.97	36.05	47.73	4.39	84.79	1.360	下:割裂	6.913	203
	052	7.98	7.97	36.05	47.82	4.43	85.66	1.359	下:割裂	7.197	210
	053	7.98	7.98	36.07	47.75	4.45	85.46	1.352	下:面圧	7.170	209
	平均	7.98	7.97	36.06	47.76	4.42	85.30	1.357		7.09	207
	STDEV	0.003	0.005	0.013	0.045	0.031	0.456	0.0045		0.16	3.9
CF060-3d	031	7.94	7.92	20.30	47.84	4.47	84.65	1.330	上:割裂	5.257	151
	032	7.95	7.92	20.25	47.82	4.44	85.67	1.354	下:割裂	5.441	157
	033	7.96	7.93	20.27	47.88	4.48	86.25	1.350	上:割裂	5.203	148
	平均	7.95	7.92	20.27	47.85	4.46	85.52	1.345		5.30	152
	STDEV	0.008	0.005	0.025	0.031	0.020	0.810	0.0127		0.12	5
CF161-7d	171	7.96	7.94	52.07	47.74	6.05	114.12	1.326	上下:面圧	16.447	348
	172	7.97	7.95	52.06	47.74	5.96	113.68	1.342	上下:面圧	17.888	385
	173	7.97	7.95	52.06	47.79	6.06	114.55	1.328	上下:面圧	16.396	347
	平均	7.96	7.94	52.06	47.75	6.02	114.12	1.332		16.91	360
	STDEV	0.006	0.008	0.005	0.032	0.057951	0.435	0.0089		0.85	21.6
CF161-5d	151	7.96	7.92	36.12	47.72	5.96	114.82	1.355	上下:面圧	13.788	296
	152	7.96	7.92	36.04	47.73	5.83	113.35	1.369	上下:面圧	14.020	308
	153	7.98	7.93	36.05	47.79	6.02	115.33	1.346	上下:面圧	15.090	321
	平均	7.97	7.92	36.07	47.74	5.94	114.50	1.357		14.30	309
	STDEV	0.013	0.008	0.043	0.036	0.100	1.028	0.0115		0.69	12.4
CF161-3d	131	7.93	7.92	20.29	47.76	6.06	113.35	1.315	上:せん断	9.547	200
	132	7.92	7.89	20.27	47.74	5.92	113.05	1.344	上:せん断	9.549	209
	133	7.95	7.92	20.24	47.81	6.05	115.28	1.338	下:せん断	10.241	218
	平均	7.93	7.91	20.26	47.77	6.01	113.89	1.332		9.78	209
	STDEV	0.013	0.016	0.025	0.034	0.081	1.210	0.0154		0.40	9
スギ-7d	271	8.13	8.10	51.96	48.29	5.00	25.75	0.358	上:せん断	1.116	28.5
	272	8.17	8.13	51.93	48.32	5.03	23.89	0.330	上下:面圧	0.964	24.6
	273	8.20	8.10	51.96	48.33	5.05	24.73	0.340	上下:面圧	1.034	26.3
	平均	8.17	8.11	51.95	48.31	5.03	24.79	0.343		1.04	26.4
	STDEV	0.035	0.016	0.019	0.021	0.023	0.931	0.0142		0.076	2.0
スギ-5d	251	7.98	7.96	36.08	48.30	5.04	24.83	0.343	上:割裂	0.972	24.8
	252	8.03	7.96	36.06	48.31	5.04	24.19	0.334	上:割裂	0.941	23.9
	253	8.05	7.98	36.08	48.31	5.04	24.88	0.343	下:割裂	0.967	24.8
	平均	8.02	7.97	36.07	48.30	5.04	24.63	0.340		0.96	24.5
	STDEV	0.034	0.013	0.013	0.008	0.000	0.385	0.0053		0.017	0.5
スギ-3d	231	8.05	8.00	20.18	48.32	4.94	28.26	0.398	下:せん断	1.061	27.2
	232	8.04	7.97	20.23	48.33	5.04	24.78	0.342	上:割裂	0.635	16.2
	233	8.06	7.99	20.19	48.31	5.04	25.38	0.350	下:割裂	0.723	18.3
	平均	8.05	7.99	20.20	48.32	5.00	26.14	0.363		0.81	20.6
	STDEV	0.010	0.013	0.026	0.010	0.059	1.860	0.0302		0.225	5.8
カラマツ-7d	371	8.16	8.08	52.00	48.25	5.01	38.54	0.536	下:割裂	1.514	39.0
	372	8.18	8.11	51.92	48.28	5.00	33.99	0.473	上:割裂	1.487	38.1
	373	8.17	8.06	51.98	48.18	5.03	36.14	0.501	下:割裂	1.642	41.9
	平均	8.17	8.08	51.96	48.24	5.01	36.22	0.503		1.55	39.7
	STDEV	0.010	0.028	0.039	0.054	0.015	2.276	0.0314		0.083	2.0
カラマツ-5d	351	8.05	7.95	36.06	48.30	5.04	39.49	0.545	下:せん断	1.673	42.4
	352	8.05	7.95	36.06	48.29	5.02	34.51	0.478	下:割裂	1.216	31.1
	353	8.07	7.97	36.08	48.13	5.00	36.78	0.514	下:割裂	1.499	38.5
	平均	8.06	7.95	36.07	48.24	5.02	36.93	0.512		1.46	37.3
	STDEV	0.013	0.014	0.013	0.093	0.023	2.493	0.0331		0.231	5.8
カラマツ-3d	331	8.05	8.03	20.08	48.25	5.13	39.55	0.536	下:せん断	1.208	30.4
	332	8.09	7.99	20.16	48.30	5.03	37.14	0.513	下:割裂	1.300	33.1
	333	8.09	7.99	20.22	48.32	5.07	37.61	0.516	下:割裂	0.901	22.8
	平均	8.08	8.00	20.15	48.29	5.08	38.10	0.522		1.14	28.8
	STDEV	0.022	0.022	0.068	0.036	0.051	1.278	0.0127		0.209	5.3

付表 2-1 (3/3) 試験体の各種測定値と試験結果のまとめ

「2002年 枠組壁工法建築物 構造計算指針」による
直線①③ 交点座標

試験体 記号	試験体 No.	直線①の 傾き		直線③の X軸交点		めりこみ 試験終局			めりこみ 試験終局	
		a1 (kN/mm)	試験剛性 (kN/mm)	X0 (mm)	Xu (mm)	荷重 Yu (kN)	Pmaxの座標 XPmax (mm)	YPmax (kN)	強度 Pu (N/mm ²)	曲線下の 面積 (kN・mm)
CF060-7d	071	5.060	10.12	0.23	1.53	6.62	10.29	8.68	190	62.29
	072	5.073	10.15	0.40	1.68	6.48	10.23	8.25	186	59.50
	073	4.983	9.97	0.43	1.78	6.76	12.21	8.69	194	75.08
	平均	5.04	10.08	0.35	1.66	6.62	10.91	8.54	190	65.62
	STDEV	0.05	0.10	0.11	0.13	0.14	1.13	0.25	4.2	8.31
CF060-5d	051	4.335	8.67	0.56	1.98	6.16	6.11	6.91	180	29.84
	052	4.810	9.62	0.32	1.63	6.30	7.55	7.20	184	41.41
	053	4.754	9.51	0.18	1.48	6.14	5.54	7.17	179	28.91
	平均	4.63	9.27	0.35	1.70	6.20	6.40	7.09	181	33.39
	STDEV	0.26	0.52	0.19	0.26	0.09	1.04	0.16	2.6	6.96
CF060-3d	031	4.350	8.70							2.59
	032	4.193	8.39							2.75
	033	4.077	8.15							2.32
	平均	4.21	8.41							2.55
	STDEV	0.14	0.27							0.22
CF161-7d	171	7.198	14.40	0.78	2.60	13.10	20.62	16.45	277	248.07
	172	8.146	16.29	0.38	2.12	14.19	22.12	17.89	305	296.01
	173	7.461	14.92	0.36	2.07	12.70	20.45	16.40	269	244.34
	平均	7.60	15.20	0.51	2.26	13.33	21.06	16.91	284	262.81
	STDEV	0.49	0.98	0.24	0.29	0.77	0.92	0.85	19.2	28.82
CF161-5d	151	7.087	14.17	0.48	2.04	11.11	9.41	13.79	239	90.59
	152	7.005	14.01	0.55	2.16	11.24	13.82	14.02	247	140.07
	153	6.297	12.59	0.48	2.31	11.51	9.99	15.09	245	98.96
	平均	6.80	13.59	0.50	2.17	11.29	11.07	14.30	244	109.87
	STDEV	0.43	0.87	0.04	0.14	0.20	2.40	0.69	4.3	26.48
CF161-3d	131	5.664	11.33	0.24	1.80	8.87	4.93	9.55	186	34.70
	132	5.211	10.42	0.22	1.94	8.97	5.36	9.55	196	38.39
	133	5.543	11.09	0.28	2.03	9.67	4.84	10.24	206	35.63
	平均	5.47	10.945	0.25	1.92	9.17	5.04	9.78	196	36.24
	STDEV	0.23	0.47	0.03	0.12	0.44	0.28	0.40	10.1	1.92
ｽｷ-7d	271	0.998	1.996	-0.03	1.06	1.087	4.66	1.12	27.8	4.50
	272	0.849	1.698							0.80
	273	1.059	2.118	0.14	1.12	1.036	1.50	1.03	26.3	0.90
	平均	0.969	1.94	0.06	1.09	1.06	3.08	1.08	27.0	2.07
	STDEV	0.108	0.22	0.12	0.04	0.04	2.23	0.064	1.03	2.11
ｽｷ-5d	251	0.253	0.506							1.64
	252	0.694	1.388	0.07	1.38	0.911	2.13	0.94	23.1	1.28
	253	0.686	1.372	-0.03	1.31	0.919	2.01	0.97	23.5	1.26
	平均	0.544	1.09	0.02	1.35	0.92	2.07	0.96	23.3	1.39
	STDEV	0.252	0.50	0.07	0.05	0.01	0.08	0.021	0.29	0.21
ｽｷ-3d	231	0.754	1.508	0.05	1.30	0.942	1.72	1.06	24.1	0.99
	232	0.668	1.336	0.06	0.87	0.541	1.15	0.64	13.8	0.37
	233	0.617	1.234							0.40
	平均	0.680	1.36	0.06	1.09	0.74	1.44	0.85	19.0	0.59
	STDEV	0.069	0.14	0.01	0.30	0.28	0.40	0.297	7.27	0.35
カラマツ-7d	371	1.801	3.602	0.06	0.86	1.441	2.99	1.51	37.1	3.64
	372	1.733	3.466	0.19	0.99	1.385	3.24	1.49	35.5	3.67
	373	1.556	3.112	0.18	1.16	1.519	4.00	1.64	38.7	5.06
	平均	1.697	3.39	0.14	1.00	1.45	3.41	1.55	37.1	4.12
	STDEV	0.126	0.25	0.07	0.15	0.07	0.53	0.081	1.62	0.81
カラマツ-5d	351	1.541	3.082	0.21	1.24	1.585	1.99	1.67	40.2	2.01
	352	1.010	2.020	0.04	1.18	1.150	1.68	1.22	29.4	1.23
	353	1.360	2.720	0.15	1.17	1.388	1.87	1.50	35.6	1.68
	平均	1.304	2.61	0.13	1.20	1.37	1.85	1.46	35.1	1.64
	STDEV	0.270	0.54	0.09	0.04	0.22	0.16	0.227	5.42	0.39
カラマツ-3d	331	1.626	3.252							0.46
	332	1.346	2.692	0.07	0.97	1.209	1.32	1.30	30.8	0.96
	333	1.238	2.476	0.07	0.72	0.810	1.01	0.90	20.5	0.50
	平均	1.403	2.81	0.07	0.85	1.01	1.17	1.10	25.6	0.64
	STDEV	0.200	0.40	0.00	0.18	0.28	0.22	0.283	7.27	0.28

3 CFRGの一面せん断強さ

2003年度には、従来のCFRGの最外層表面にさらに直交方向のCF配向を有するCFシート〔以下、CF直交シート〕を積層接着した上で、鋼板添板ラグスクリー接合部の一面せん断試験を試みた。その結果、CF直交シートの追加により、初期剛性と終局（降伏）耐力の双方を大幅に改善させ得ることが明らかになった^{1,2,4,6,7)}。

そこで、本試験ではより効率的な接合部を開発する上での基礎データを収集するため、ラグスクリー〔以下、LS〕間隔等を狭くした試験体を作製し、その影響を検討した。

また、接合部のみのCF補強を想定し、集成材のみに載荷する方法を試みた。即ち、本試験ではCFRGの上部のCFシート積層板を切り落として試験体とした^{8,10,11)}。

3.1 試験の方法

3.1.1 試験体の作製

本試験に用いた試験体の種類を、表3-1に示す。

また、試験体の寸法を、図3-1に示す。

基材となる集成材は1体とし、150(b)×300(h)×6,000(L)mmのスギ対称異等級構成集成材E65-F225を作製した。CFシートで補強する際には、その最外層表面に表1-1に記したCFシートをそれぞれ次のように配向させて積層接着した〔図3-1〕。

長さ方向12枚（内側）+直交方向2枚（外側）

ここで、CFシートの接着には集成材用のレゾルシノール樹脂を用いた。

図3-1ではCFRGを例にとって示したが、上述のように今回は接合部のみのCF補強を想定し、集成材のみに載荷することにしたので、図中の矢印部分のCFシート積層板を切り落とした。また、コントロール用のNRGは、上記のCFRGから所定の長さを切り出した後、CFシート積層板部分を全面切り落とした。

CFRGの鋸断・穿孔には、2.1.1の場合と同様、木材加工用のチップソーおよびドリルを用いた。

添板用の鋼板厚さは、従来の9mmでは若干曲がりが出る危険性があったため、すべて12mmとし

た。

LSは、すべて直径16mm、長さ150mmのものを用いた。試験体1体当たり、4本×2面=8本を使用した。

3.1.2 試験方法

各試験体は、試験直前にH鋼の上に載せ、70kg弱の荷重をかけた状態で、最終的なLSの締め付けを行った。これにより、鋼板2枚の下面を確実に平行に取り付けることができた。この程度の載荷であれば、本試験への影響もほぼ無視できるものと思われた。

また、試験時には鋼板下部の開きを抑制するため、専用の金物〔図3-1の試験体下部のボルト・ナットと鋼板、図3-2の右の写真参照〕を取り付けた。ここで、ナットの締め付けは、接合性能に影響が出ないように、手で締め付けられる範囲内とした。

一面せん断試験は、前報⁷⁾と同様、(株)島津製作所製の圧縮試験機CCM-2000kNを用いて実施した〔図3-2の写真〕。荷重速度は、3mm/minとした。

鋼板と集成材とのすべりは、(株)東京測器研究所製高感度変位計CDP-50で測定した。ここで、変位計4個(①~④)は図3-2の平面図のようにセットした。そして、集成材の最外層表面から30mm内側でかつ長さ(縦)方向の中央の位置において、CFRG(またはNRG)の下降量を測定し、鋼板との相対変位とみなした。

荷重と変位の記録には、(株)東京測器研究所製デジタルひずみ測定器TC-31K(CSW-5A-05付)を用いた。データの記録間隔は、1回/秒に設定した。

試験結果の評価は、次の2法によった。

- ① 2.1.2に記載した「指針」のP.255による、試験許容応力と試験剛性
- ② 「低層建築物の構造耐力性能評定に関する技術規程(木質系)(案)」(ビルディングレター1999年1月号、P.59-89)のP.78による完全弾塑性近似〔前報⁷⁾の図3-3〕

この2法は同様の方法であり、①の「試験剛性」と②の「初期剛性」、①の「試験許容応力」と②の「元モデルの降伏耐力 P_y 」とは同一のものである。②では「完全弾塑性モデルの降伏耐力 P_u (同一面積を与える台形の高さ)」〔以下、終局耐力 P_u と表記〕も求めた。

なお、②における評価では、F-BASIC V6.3によ

る自作プログラムを使用した。このプログラムの作成に当っては、京都大学 生存圏研究所 (当時、木質科学研究所) 小松幸平教授が作られたプログラムを手本にさせていただいた。

3.2 結果と考察

3.2.1 試験体の経時変化と破壊形態

一面せん断試験における「総荷重」と「変位計4個の測定値」の経時変化を、一例として図3-3に示す。これらの図では、図中に①②等の記号を付け、図の右側にそれぞれの説明を記した。説明の内容には、図中の記号を付けた位置の前後で生じた現象も含めてある。委託業務報告書⁸⁾には、全試験体の経時変化を記載した。

本試験では、従来の試験と異なり、集成材部分にのみ載荷したので、破壊形態としては次の3タイプが認められた。

タイプ1：CF直交シートが下部のLS2本から上で剥離し、LS上部でCF平行シートがせん断抜けする [写真3-1]。

タイプ2：CF直交シートがLSの両外側で剥離し、LS間のCFシート積層板全体がその接着層下でせん断破壊する [主として木破による、写真3-2]。

タイプ3：CFシート積層板全体が、その接着層下でせん断破壊する [主として木破による、写真3-3]。

CF補強の7dと5dではタイプ1と3が、CF補強の3dではタイプ1, 2, 3のすべてが認められた [表3-2]。

タイプ3が認められたことは、今回の試験体作製において、CFシート-集成材間およびCF直交シート-CF平行シート間の接着性能が優れていたことを示すものと考えられる。

なお、多くの試験体で、集成材中央下部に割裂が認められた。これは、同部において引張の力が作用したことを示唆する。図3-1及び図3-2の写真に示す鋼板下部締付け用の金物は、あまり効果がなかったものと思われる。

また、本試験では集成材部分の含水率を測定しなかった。ただし、人工乾燥後十分に養生 (屋内保管) したラミナを使用しているため、4.2.1の本文に記したスギ積層材の場合と同様、11%台程

度になっていたものと思われる。

3.2.2 荷重-変位曲線と完全弾塑性近似の結果

全試験体の荷重-変位曲線を、図3-4に示す。

この図では、横軸を「変位計4個の平均変位」、縦軸を「LS1本当たりの平均荷重」として表示した。

また、上記3.1.2の①と②による評価結果を、表3-3及び図3-5に示す。前報⁷⁾の図3-3における直線Ⅶをどの位置に取ったかは、付表3-1の「0.8 PmaxのX0.8」欄に示した。

なお、試験体131と132の荷重-変位曲線は、試験終了とした時点においても、0.8 Pmax近くまでしか下がっていなかった [図3-4]。ただし、本試験では試験終了時に0.8 Pmaxまで下がったと見做した。また、変位計の測定値もこれらの試験体の一部で過小評価となった [写真3-4] が、補正等は省略した。いずれの場合も終局耐力や塑性率を小さ目の値にすることになるが、安全側なので良しとした。

図3-4、表3-3及び図3-5を基に、それぞれの特徴をまとめると、以下のようであった。

CFRG-7dでは、試験剛性や終局耐力等において、大幅な向上が見られた。CFシート積層板の破壊が進む平均変位15mm前後までは、十分な補強効果が示された。また、その後もNRG (補強なし、7d) と同程度の性能は確保されていた。

CFRG-5dでは、終局耐力が同7dより小さくなった。しかし、試験剛性は大きく、終局耐力もNRGを上回る性能が示された。また、CFRG-7dと同様、CFシート積層板の破壊が進んだ後も、NRGと同程度の性能は確保されていた。

CFRG-3dでは、試験剛性においてNRGを上回ったものの、終局耐力はNRGに及ばなかった。

以上の結果は、上述の2.2の結果をよく反映しているものと思われる。

接合部のみに対して今回のようなCF補強を行う場合は、LS間隔等を5dにしても無補強・7dの場合より優れた性能が得られるものと期待される。また、CF補強をした上でLS間隔等を7dのままにしておけば、剛性や耐震性等において、木材のみでは不可能な性能を付与し得るものと思われる。

表 3-1 一面せん断試験の試験体記号と仕様等

試験体記号	接合部の仕様	L S 間隔等	
		(d : L S 径 16 mm)	
CFRG-7d	C F 補強あり	7 d	171, 172, 173
CFRG-5d	C F 補強あり	5 d	151, 152, 153
CFRG-3d	C F 補強あり	3 d	131, 132, 133
NRG-7d	C F 補強なし	7 d	071, 072, 073

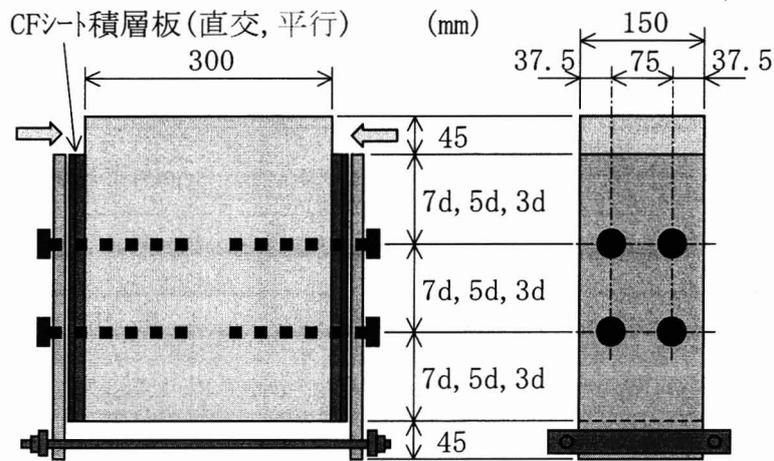


図 3-1 試験体の仕様と寸法 (CFRG の例で示す)

図中の d : L S 直径 (16 mm)

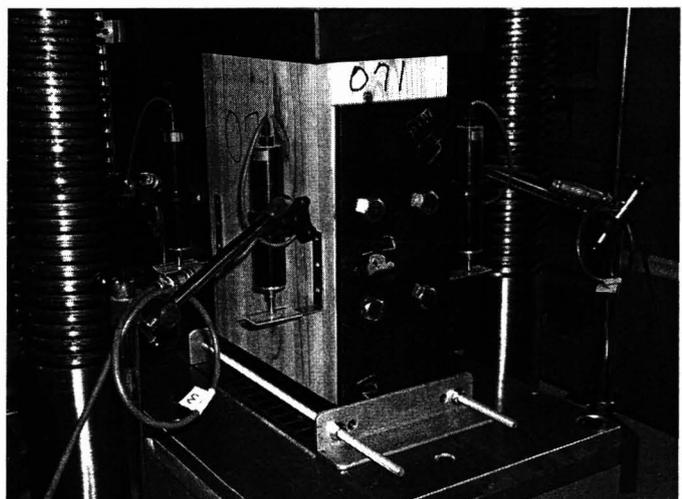
図中の 7d, 5d, 3d : 3ヶ所とも 7d とするもの, 同 5d とするもの, 同 3d とするものの, 計 3仕様があることを示す



図 3-2 変位計 4 個の取付け位置

①～④ : 変位計 No. (右の写真参照)

写真下部のボルト 2 本と L 型金物は, 試験体下部で鋼板添板が開くのを抑制するための治具



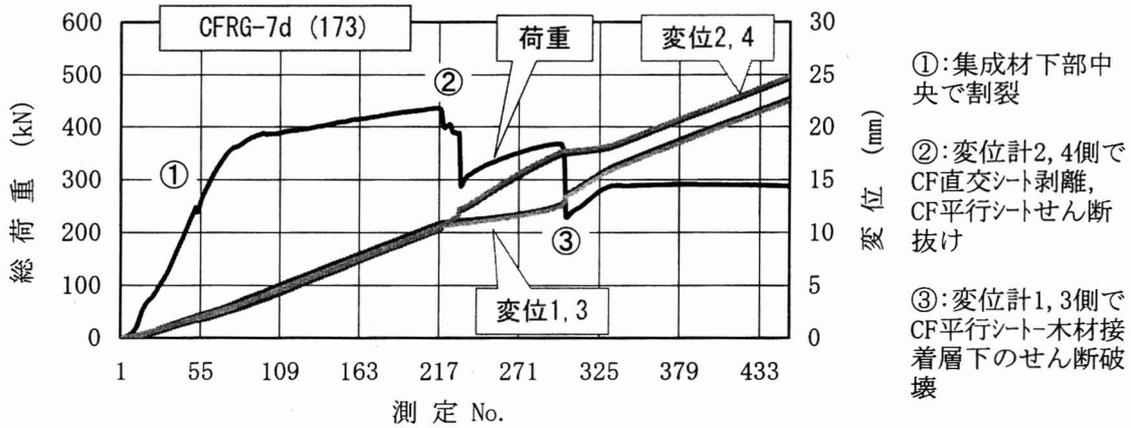


図 3-3 総荷重と 4 変位の経時変化の一例 (測定 : 約 54 回/分)

表 3-2 最終的な破壊形態*

試験体記号	試験体 No.	タイプ 1	タイプ 2	タイプ 3
CFRG-7d	171	○, ○		
	172	○		○
	173	○		○
CFRG-5d	151	○		○
	152	○		○
	153			○, ○
CFRG-3d	131	○	○	
	132	○	△	△
	133		○	○

* タイプ 1～3の説明は本文中 (3. 2. 1) に記載した (写真 3-1～3 参照)。表中の○印は、各試験体のCF補強した2面が、それぞれどのタイプで破壊したかを示す。表中の△印は、2つのタイプの間であったことを示す。

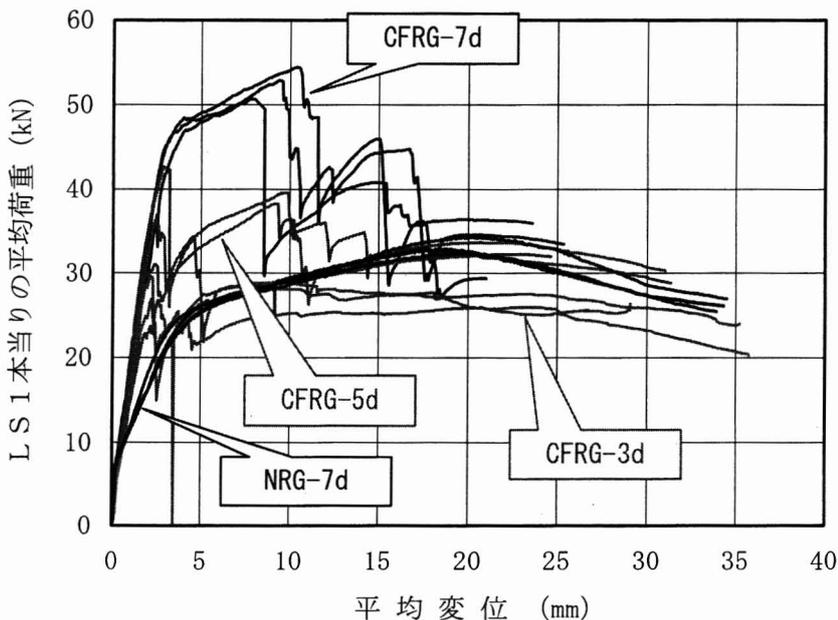


図 3-4 全試験体の荷重-変位曲線

表 3-3 一面せん断試験のまとめ (平均値)

試験体記号	試験剛性 (kN/mm)	試験許容応力 (kN)	終局耐力 (kN)	塑性率
CFRG-7d	13.9	44.0	46.7	4.73
CFRG-5d	16.8	32.7	33.8	12.4
CFRG-3d	14.4	16.0	25.9	18.5
NRG-7d	7.12	21.7	30.1	7.80

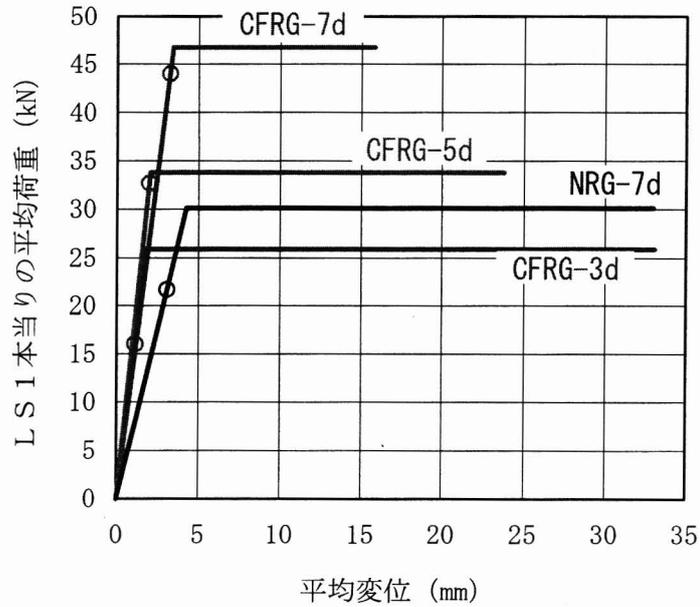


図 3-5 完全弾塑性近似の結果

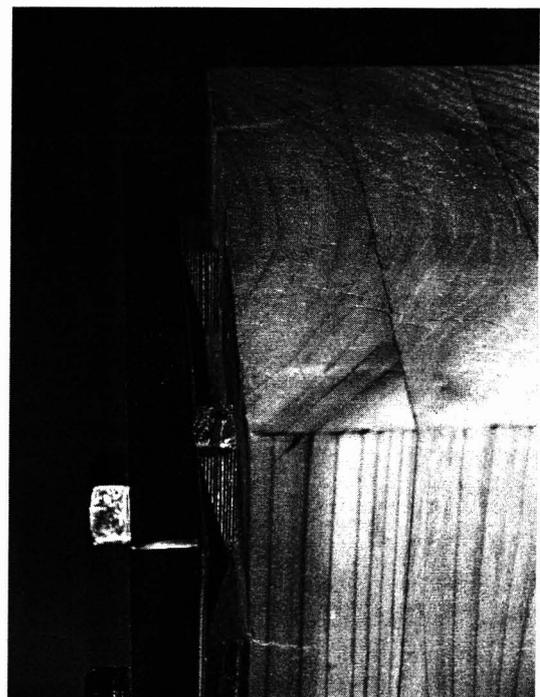


写真 3-1 最終的な破壊形態の「タイプ 1」 (試験体の上面側から撮影)



写真 3-2 最終的な破壊形態の「タイプ2」(左)と「タイプ2・3の中間」(右)

(いずれも試験体の下面を上にして撮影)

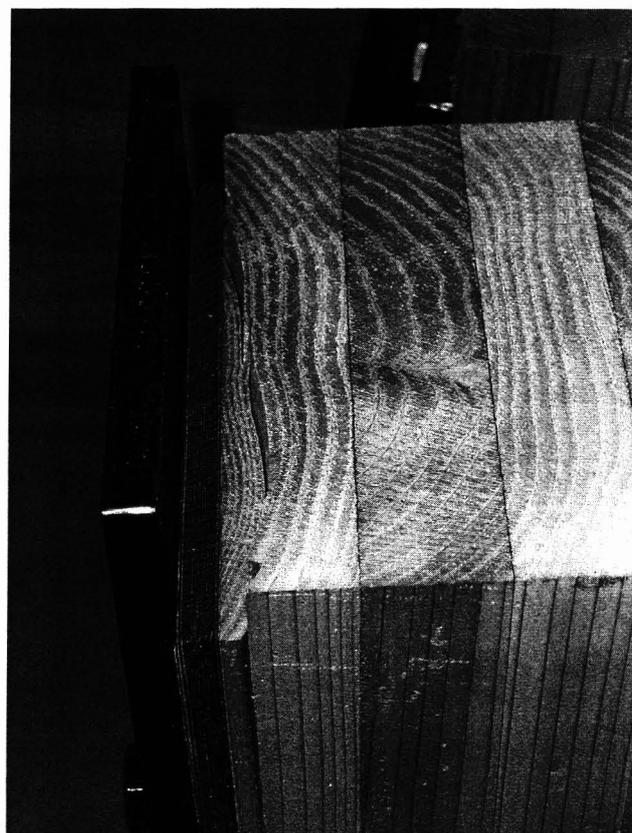


写真 3-3 最終的な破壊形態の「タイプ3」 (右の写真は試験体の下面を上にして撮影)

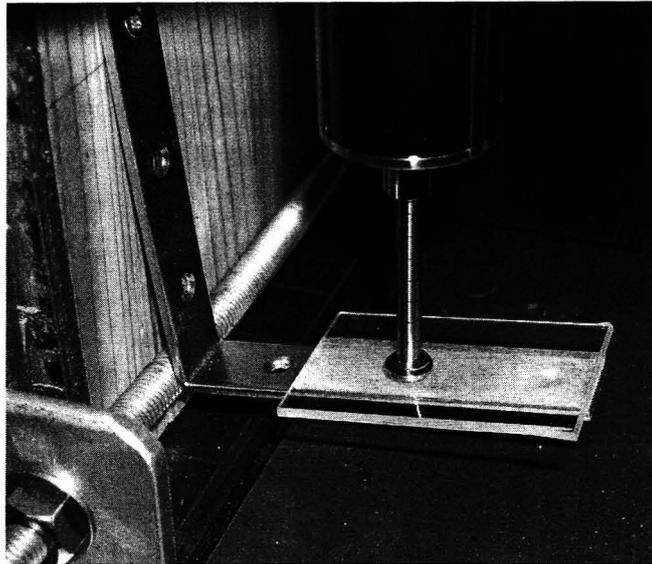


写真 3-4 試験体 No. 131 における変位計受け金物の変形

CFRG-3d は試験体長が短いため、L型金物の一番上の穴を使って集成材高さの中央に木ねじで固定すると、下部の開き止めボルトに接触してしまった。そこで、以後の試験体ではL型金物の中央の穴で固定した。

付表 3-1 完全弾塑性近似による評価結果

試験体 No.	初期剛性		試験許容応力		降伏点荷重			Pmaxの座標		
	直線V傾き (kN/mm)	直線IV, Vの交点 XY (mm)	直線IV, Vの交点 YY (kN)	直線V, VIの交点 XV (mm)	直線V, VIの交点 YV (kN)	0.8Pmaxの X0.8 (mm)	塑性率 μ	Xpmax (mm)	Ypmax (kN)	(曲線下の 面積 S)
(CFRG-7d)										
171	14.88	2.465	36.67	3.097	46.07	16.89	5.46	9.37	52.91	707.0
172	13.98	3.385	47.33	3.143	43.95	15.40	4.90	7.80	50.69	607.9
173	12.68	3.789	48.04	3.958	50.18	15.17	3.83	10.37	54.48	662.1
平均	13.85	3.213	44.01	3.399	46.73	15.82	4.73	9.18	52.69	659.0
同(3桁)	13.8	3.21	44.0	3.40	46.7	15.8	4.73	9.18	52.7	659
(CFRG-5d)										
151	17.60	1.711	30.12	1.895	33.35	30.17	15.92	9.33	38.25	974.3
152	16.34	2.371	38.74	2.295	37.49	10.28	4.48	2.85	42.66	342.2
153	16.58	1.767	29.29	1.842	30.54	30.83	16.74	2.39	36.28	913.2
平均	16.84	1.950	32.72	2.011	33.79	23.76	12.38	4.86	39.06	743.2
同(3桁)	16.8	1.95	32.7	2.01	33.8	23.8	12.4	4.86	39.1	743
(CFRG-3d)										
131	14.48	1.549	22.43	1.847	26.75	29.07	15.74	9.16	28.91	752.8
132	14.98	0.593	8.89	1.781	26.68	35.24	19.78	2.11	29.64	916.3
133	13.79	1.216	16.77	1.756	24.21	34.94	19.90	23.04	25.95	824.6
平均	14.42	1.119	16.03	1.795	25.88	33.08	18.47	11.44	28.17	831.2
同(3桁)	14.4	1.12	16.0	1.79	25.9	33.1	18.5	11.4	28.2	831
(NRG-7d)										
071	6.95	2.956	20.54	4.297	29.85	32.97	7.67	17.68	32.98	920.0
072	6.95	3.121	21.69	4.285	29.78	32.84	7.66	19.76	32.30	914.2
073	7.47	3.056	22.84	4.117	30.77	33.19	8.06	20.13	34.23	957.9
平均	7.12	3.044	21.69	4.233	30.13	33.00	7.80	19.19	33.17	930.7
同(3桁)	7.12	3.04	21.7	4.23	30.1	33.0	7.80	19.2	33.2	931

4 CFRGの部分横圧縮強さ

2003年度の試験では、試験体長を300mmとしたところ、CFRGにおいて木口割れが発生した(1.2.5-7)。

そこで、本試験では試験体長をより長くし、CF補強の効果を再度検討した。

なお、本試験では効率的な接合部を設計するための基礎データを得るため、CFシート積層板の長さを変えると同時に、材端部載荷の試験も追加した。

また、CFシートの積層枚数の影響についても、若干の比較を試みた(8,9,11)。

4.1 試験の方法

4.1.1 試験体の作製

本試験に供した試験体の種類を、図4-1および表4-1に示す。

1条件当りの試験体数 n は、3とした。

試験体の集成材部分(スギ積層材)は、スギ対称異等級構成集成材E65-F225を想定し、同集成材の外層用ラミナ(L70, 25mm厚)の上に最外層用ラミナ(L80, 25mm厚)を接着した。接着方法は構造用集成材の作製方法に従い、接着剤はレゾルシノール樹脂とした。このスギ積層材の寸法は150(幅)×50(高)×4,000(長)mmとし、計3体(No.①, ②, ③)を作製した。

これらのスギ積層材から、加圧板の下に所定長さの無節部が来るように[図4-1]、650mm長の試験体を切り出した。その1例を、図4-2に示す。

CFシート積層板については、315(幅)×1,100(長)mmのCFシート[表1-1]を用い、12枚積層板と6枚積層板を1体ずつ作製した。本試験におけるCF配向は、すべて長さ方向とした。

CFシート同士の接着には、木材用のレゾルシノール樹脂を用いた。接着剤使用量は 200 g/m^2 で、圧縮条件は 0.8 MPa (8 kgf/cm^2)、常温、1昼夜とした。

次いで、木工用のチップソーを用い、各CFシート積層板から(150mm幅)×(図4-1の所定長さ)の積層板を切り出した。

部分横圧縮強さ試験体は、上記のスギ積層材[150(幅)×50(高)×650(長)mm]の上に、それぞ

れのCFシート積層板を接着して作製した。使用した接着剤は木材用のレゾルシノール樹脂で、接着剤使用量は 300 g/m^2 、圧縮条件は 0.8 MPa 、常温、1昼夜とした[写真4-1]。

CFシート積層板を接着した後、それぞれを幅45mmに(3列に)鋸断して、部分横圧縮強さ試験体($n=3$)とした。試験体の鋸断法を、CFRGを例にとり、図4-3に示す。

4.1.2 試験方法

試験方法は、2.1.2に記載した「指針」に準じた。

加圧板の形状・寸法を、図4-4に示す。加圧板を載せる位置は、CFRGではCFシート積層板の上、NRGでは最外層用ラミナの上とした。

試験は(株)島津製作所製圧縮試験機CCM-2000kNを用い、荷重速度 2 mm/min で実施した。

変位(圧縮量)の測定には(株)東京測器研究所製高感度変位計CDP-50を2個使用し、対角線上の2点に設置した[写真4-2]。荷重と2ヶ所の変位のデータは同研究所製デジタルひずみ測定器TC-31K(CSW-5A-05付)に記録させた。データの取り込みは、1回/秒に設定した。

試験の結果は、「指針」に従い、めり込み試験強度で評価した。めり込み試験強度は、試験体の圧縮量が加力方向の木材寸法の5%(ここでは $50\text{ mm} \times 0.05 = 2.50\text{ mm}$)に達した時の荷重値を、試験体における荷重の作用面積で除して求めた。

4.2 結果と考察

4.2.1 荷重-変位曲線

表4-1の試験条件-試験体No.を用いて、全試験体の荷重-変位曲線を図4-5に示す。実際のデータ取り込みは、55~56回/分であった。

図のX軸の変位は、写真4-2に示した変位計1・2の平均値とした。

これらの荷重-変位曲線を比較すると、すべての試験条件において、試験体No.2の曲線が同No.1,3の曲線より上位にあった。この理由としては、試験体No.2が板目板、試験体No.1,3が追根板となったことが考えられる[図4-3]。

そこで、試験条件間の比較をする際には、グラフを見やすくするため、試験体No.2とNo.1,3とを分けて表示した[図4-5の上段・中段]。なお、

図 4-5 の下段では曲線の数が少ないため、同一グラフ内で曲線の太さを変えて区別した。

なお、本試験体用のラミナには、人工乾燥後十分に養生（屋内保管）されたものが使われた。各スギ積層材（①，②，③）から含水率試片を2個ずつ切り出し、全乾法によってスギ積層材ごとの平均含水率を求めると、部分横圧縮試験開始時において、スギ積層材①が11.3%、②が11.5%、③が11.2%であった。含水率の差は軽微であるため、本試験結果の比較に当っては、含水率の差を無視した。

4.2.2 荷重-変位曲線と圧縮変形との関係

12a および 6a シリーズの材中間部載荷試験においては、CFシート積層板がある場合、それらの荷重-変位曲線の初期に顕著なピークが認められた（図 4-5 の上段と下段左）。

これらの試験体の変形経過を観察すると、荷重-変位曲線の最初のピークまではCFシート積層板がわずかにしなうのみであった[写真 4-3 の①]。なお、ピークに近づくにつれ、CFシート間での局所的な剥離は若干発生するようであった。

最初のピークを過ぎると、加圧板の端部でCFシート積層板が局所的に折れ曲がった（写真 4-3 の②）。それ以降は、この折れ曲がりにより顕著になり、CFシート間での局所的な剥離が拡大するとともに、加圧板下における木材の圧密化が進んだ（写真 4-3 の③）。

12b および 6b シリーズの材端部載荷試験においても、CFシート積層板がある場合、それらの荷重-変位曲線の最初に小さなピークが認められた（図 4-5 の中段と下段右）。

これらの試験体の変形経過においても、荷重-変位曲線の最初のピークまではCFシート積層板が若干しなうのみであった[写真 4-4 の①]。この際、木部は材端部側ほど大きく圧縮されたが、加圧板はほとんど傾かなかつた。そのため、材端部側では加圧板とCFシート積層板との間に隙間が生じた。

最初のピークを過ぎると、加圧板の端部（材中央側）でCFシート積層板が局所的に折れ曲がった（写真 4-4 の②）。それ以後は、加圧板とCFシート積層板が密着した状態のまま、加圧板下における木材の圧密化が進んだ（写真 4-4 の③）。

なお、それぞれの荷重-変位曲線において、最初のピーク後の挙動は他の要因に左右されていた。以下、試験条件別にそれぞれの特徴を記す。

12a650 シリーズでは、試験体長を長くしたため、木部の木口割れやCFシート積層板端部からの割れ（木破等）は生じなかった[写真 4-5、付表 4-1 の右端]。そのため、前年度の試験結果^{1,2,5-7)}と異なり、これらの荷重-変位曲線は常にコントロール(NRG)の12a0 シリーズより上位にあった[図 4-5 の上段]。

12a350 および 12a200 シリーズでは、すべての試験体において、CFシート積層板の端部から割れが発生した[写真 4-6~7、付表 4-1 の右端]。そのため、これらの荷重-変位曲線では、最初のピーク後の上昇がやや小さかった。ただし、12a シリーズ（材中間部載荷）においては、CF補強シリーズの曲線が常にコントロールの上位にあった[図 4-5 の上段]。

12b シリーズでも、ほぼ同様の傾向が認められた[写真 4-9~12、付表 4-1 の右端]。ただし、12b200 や 12b125 の荷重-変位曲線の一部は、最終的にコントロールと同程度の荷重値を示した[図 4-5 の中段]。12b シリーズの方が、CFシート積層板端部からの割れの影響が大きいように思われる。

6a350 および 6b200 シリーズでは、それぞれの試験体 No. 1 と 3 において、CFシート積層板の端部から大きな割れが発生した[写真 4-13, 15、付表 4-1 の右端]。そのため、これらの荷重-変位曲線は、最終的にコントロールと同程度の値を示した[図 4-5 の下段]。

4.2.3 試験体の各種測定値とめり込み試験強度

試験体の各種測定値とめり込み試験強度等を、付表 4-1 に示す。

この表において、「試験体全寸」欄の幅と高さは、いずれも載荷部分で測定した値である。参考値として示した「木部高」はCFシート積層板のない部分での測定値なので、高さの差はCFシート積層板の厚さに相当する。

試験体重量は、CFシート積層板の積層数と長さに応じて増大した。

めり込み試験強度については、試験条件別の平均値を表 4-2 にまとめて示す。ここでは、対コントロール倍率と対コントロール増分も求めた。

表 4-1 本試験で作製した試験体の種類と試験条件※等

CFシート積層数	加圧部	試験条件	試験条件-試験体 No.	スギ積層材 No.
12	材中間部	12a650	12a650-1, 2, 3	①
		12a350	12a350-1, 2, 3	
		12a200	12a200-1, 2, 3	
		12a0 (コントロール)	12a0-1, 2, 3	
12	材端部	12b350	12b350-1, 2, 3	②
		12b200	12b200-1, 2, 3	
		12b125	12b125-1, 2, 3	
		12b0 (コントロール)	12b0-1, 2, 3	
6	材中間部	6a350	6a350-1, 2, 3	③
		6a0 (コントロール)	6a0-1, 2, 3	
6	材端部	6b200	6b200-1, 2, 3	③
		6b0 (コントロール)	6b0-1, 2, 3	

※ 試験条件は、「CFシート積層数」の後に「図4-1の記号(a650等の太字)」を添付した。

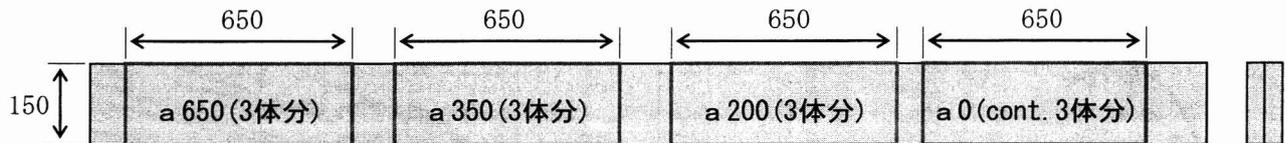


図 4-2 スギ積層材からの試験体用板材の鋸断方法 (単位: mm)

スギ積層材 No. ①から 12a650, 12a350, 12a200, 12a0 用の板材を採取する場合を例に示した。

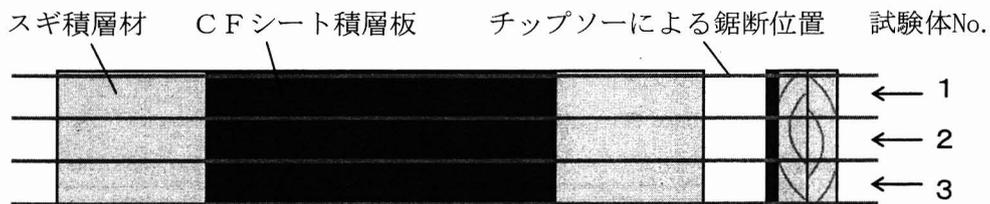


図 4-3 部分横圧縮試験体の鋸断方法

CFシート積層板付の試験体用スギ積層材の寸法は、150(幅)×650(長)mm

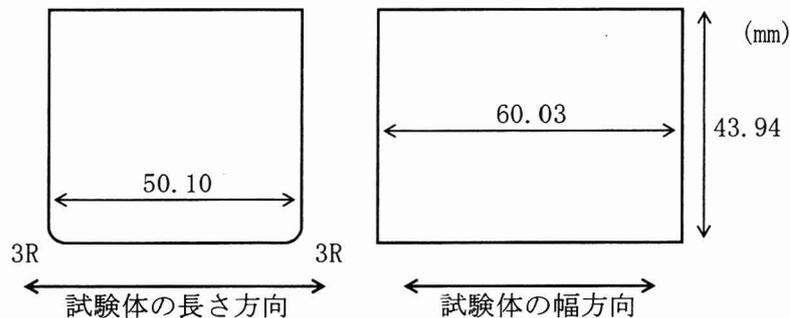


図 4-4 加圧板の形状と寸法

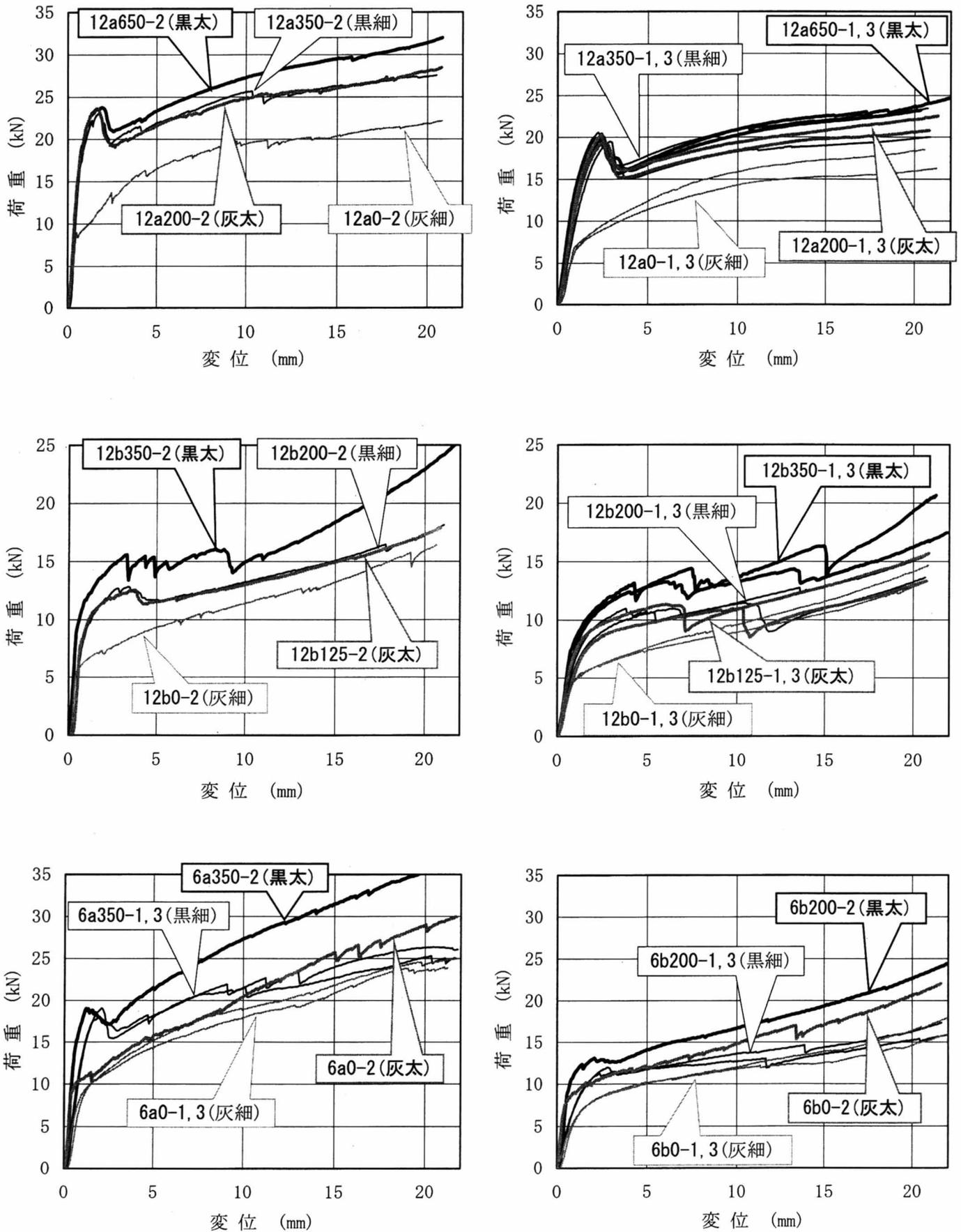


図 4-5 全試験体の荷重-変位曲線

表 4-2 試験条件別のめり込み試験強度（平均値）の比較

試験条件	めり込み試験強度 (N/mm ²)	対コントロール 倍率 (倍)	対コントロール 増分 (N/mm ²)	スギ積層材 No.
12a650	8.78	1.92	4.20	
12a350	8.61	1.88	4.03	①
12a200	8.50	1.86	3.92	
12a0	4.58	1.00	0.00	
12b350	5.48	1.87	2.55	
12b200	4.60	1.57	1.67	②
12b125	4.39	1.50	1.46	
12b0	2.93	1.00	0.00	
6a350	7.28	1.38	2.01	
6a0	5.27	1.00	0.00	③
6b200	5.23	1.29	1.16	
6b0	4.07	1.00	0.00	

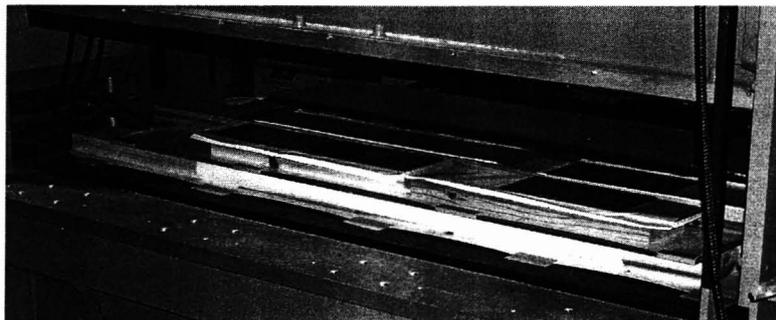
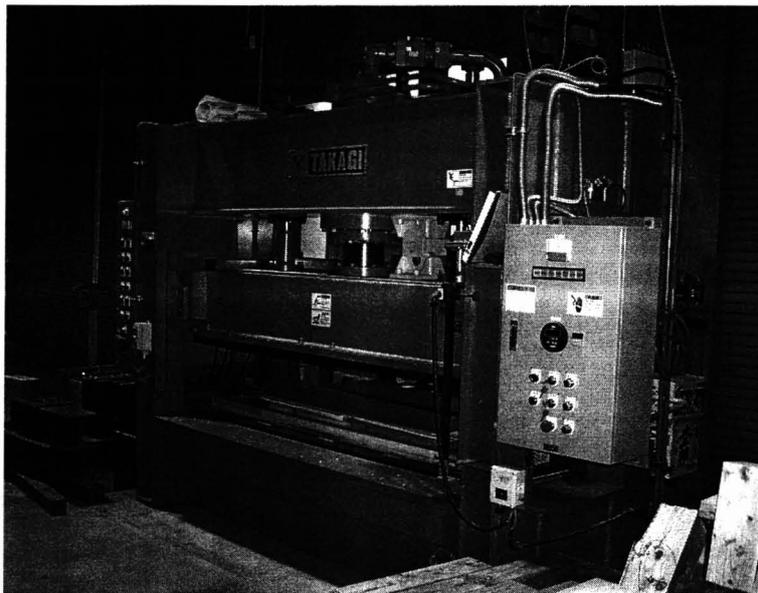


写真 4-1 CFシート積層板とスギ積層材との接着

CFシート積層板自体（「2」の面圧強さ試験体を含む）も、本プレスで作製した。

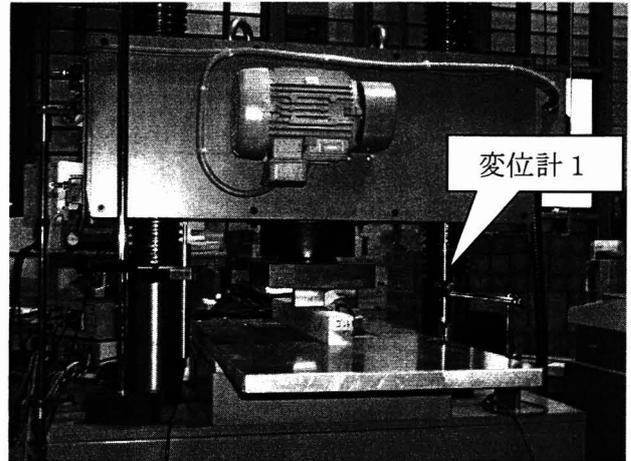
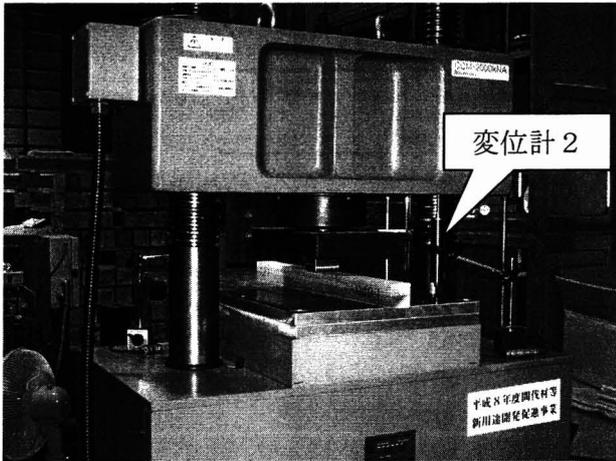


写真 4-2 部分横圧縮試験 (材中間部載荷の例)

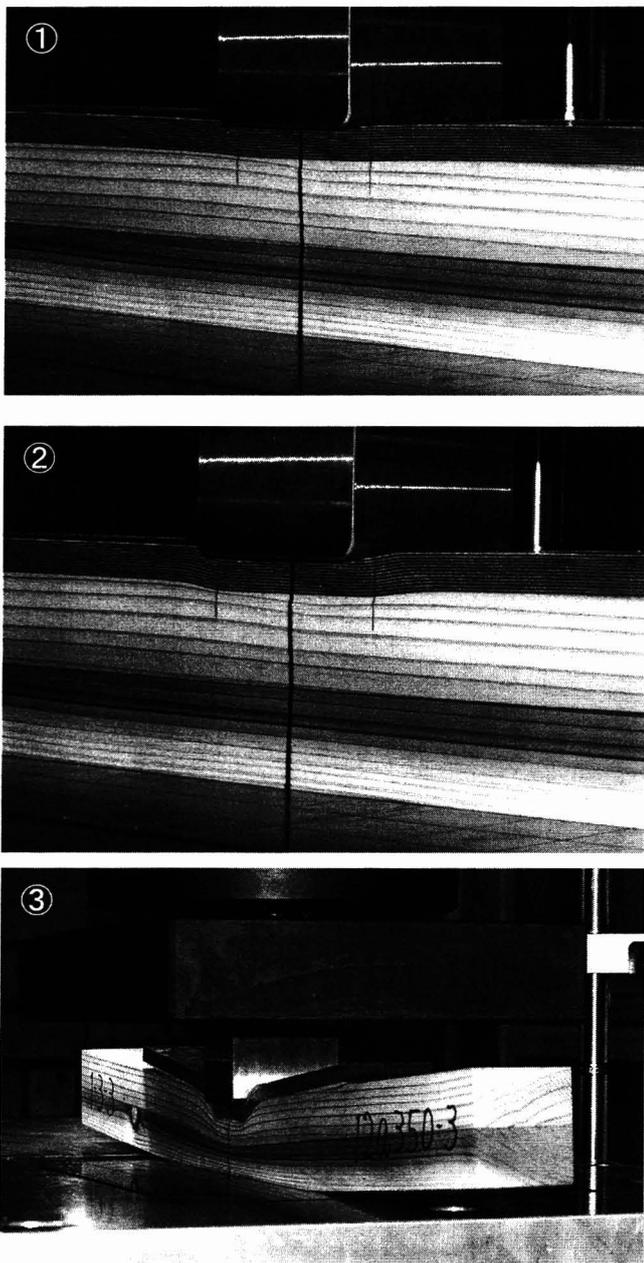


写真 4-3 材中間部載荷試験における
圧縮変形の進行 (12a350-3 で例示)

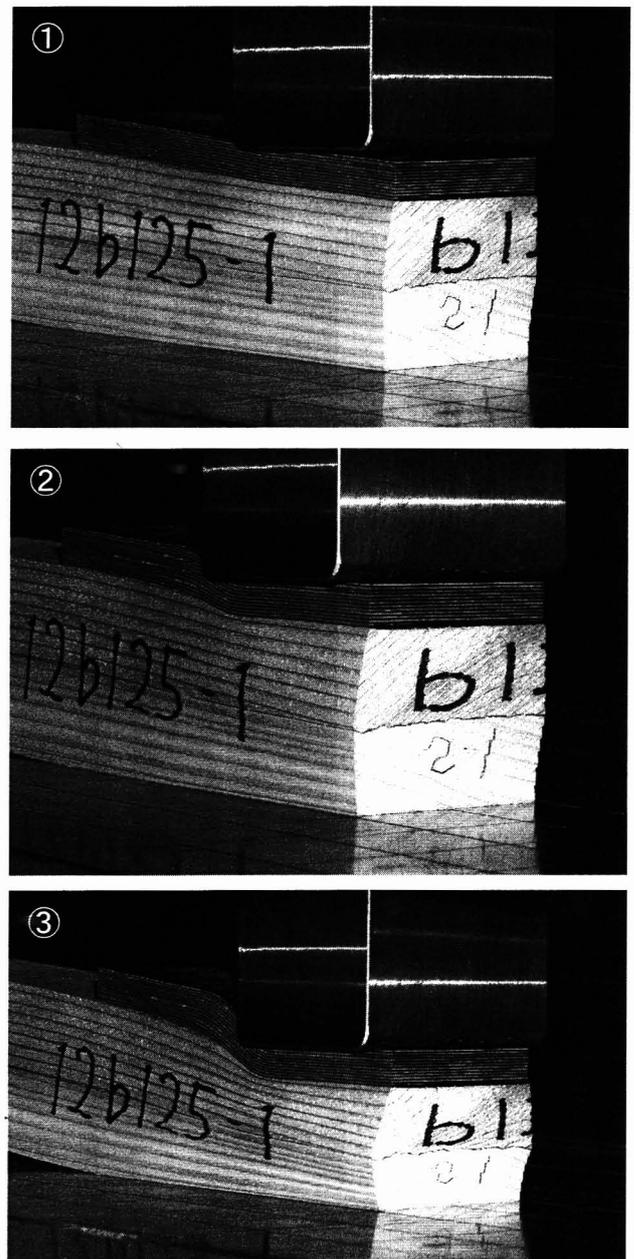


写真 4-4 材端部載荷試験における
圧縮変形の進行 (12b125-1 で例示)



写真 4-5 12a650 における圧縮変形
3 試験体とも、木口割れは発生しなかった。

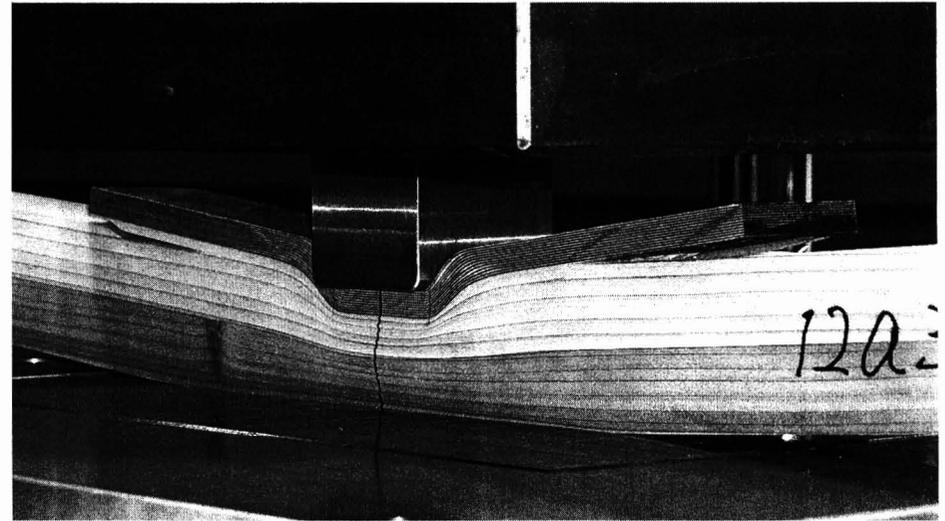


写真 4-6 12a350 における圧縮変形
3 試験体とも、CFシート積層板の端部から割れが発生した。

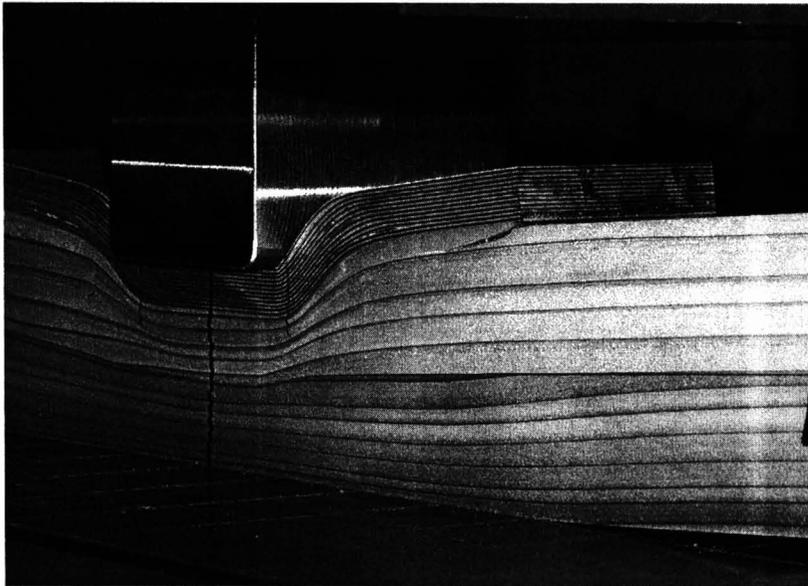


写真 4-7 12a200 における圧縮変形
3 試験体とも、CFシート積層板の端部から割れが発生した。



写真 4-8 12a0 における圧縮変形
3 試験体とも、加圧板下の圧縮変形が進むのみで、木口割れは発生しなかった。

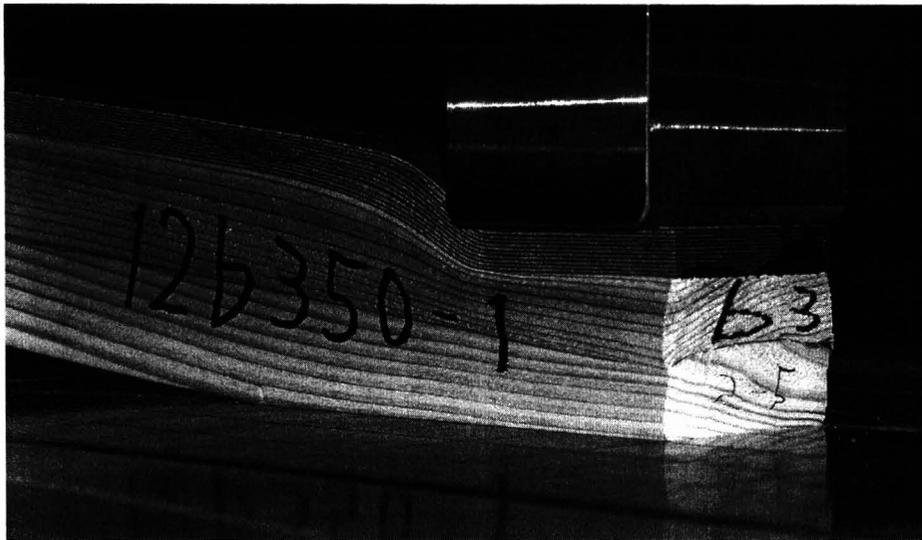


写真 4-9 12b350 における圧縮変形
3 試験体とも、CFシート積層板端部からの割れは発生しなかった。

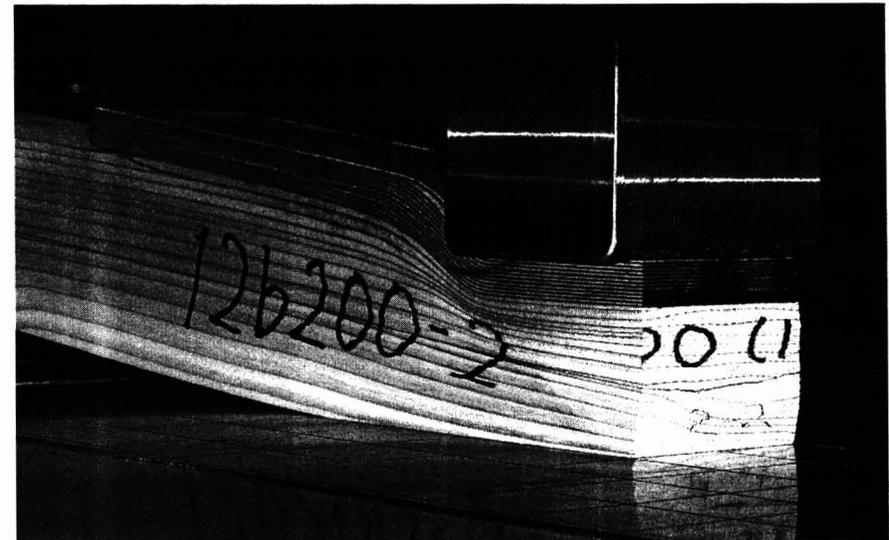


写真 4-10 12b200 における圧縮変形
3 試験体とも、非圧縮側のCFシート積層板端部から割れが発生した。

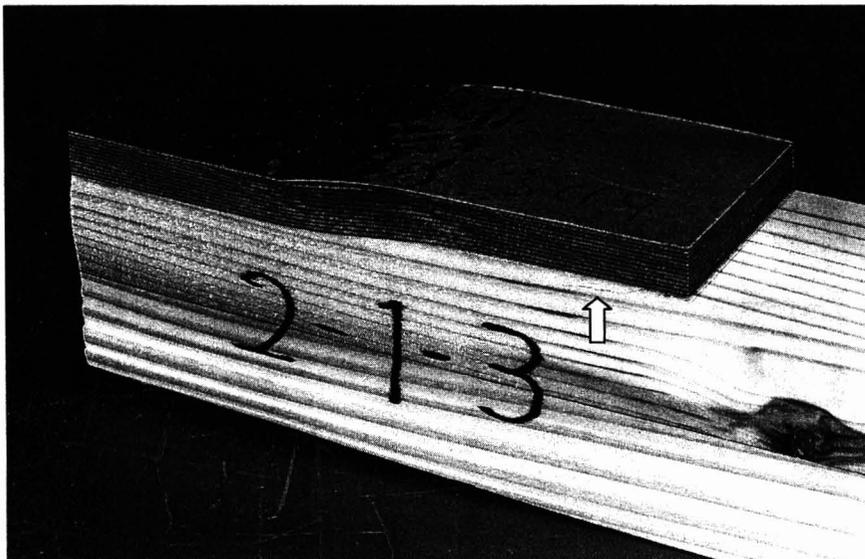


写真 4-11 12b125 における圧縮変形 (試験後の状態) 12b125-2, 3 では、非圧縮側のCFシート積層板端部から軽微な割れ(矢印)が発生した。

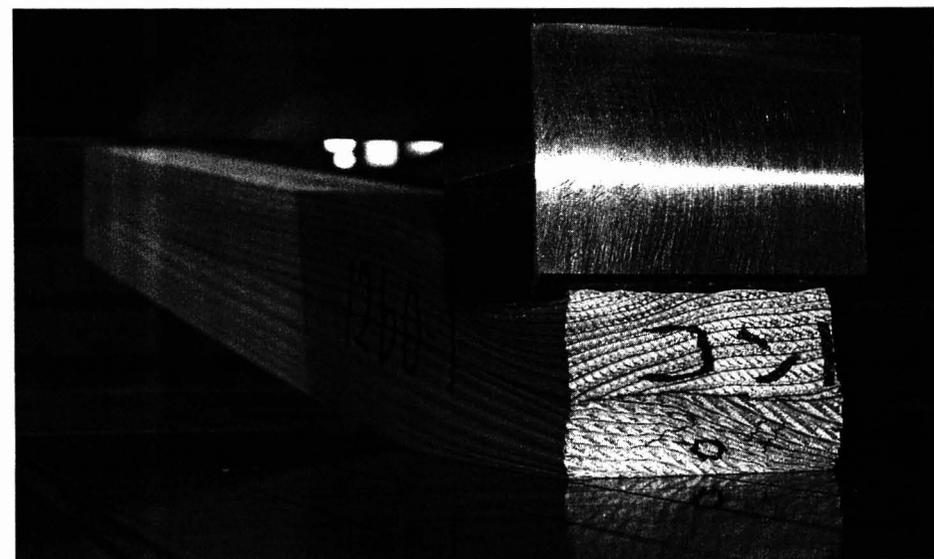


写真 4-12 12b0 における圧縮変形
3 試験体とも、非圧縮側の木口割れは発生しなかった。

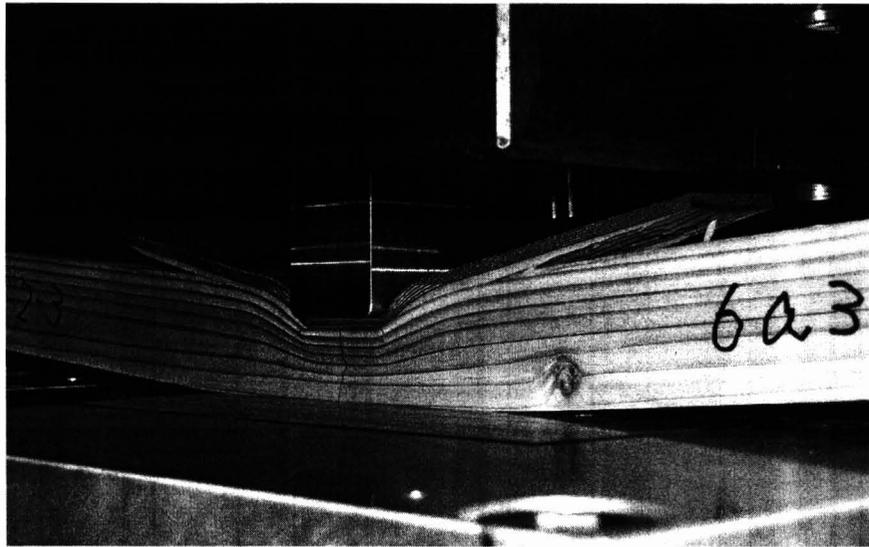


写真 4-13 6a350 における圧縮変形

6a350-1, 3 では、CFシート積層板の両端部から大きな割れが発生した。



写真 4-14 6a0 における圧縮変形

3 試験体とも、加圧板下の圧縮変形が進むのみで、木口割れは発生しなかった。



写真 4-15 6b200 における圧縮変形

6b200-1, 3 では、非圧縮側のCFシート積層板端部から大きな割れが発生した。

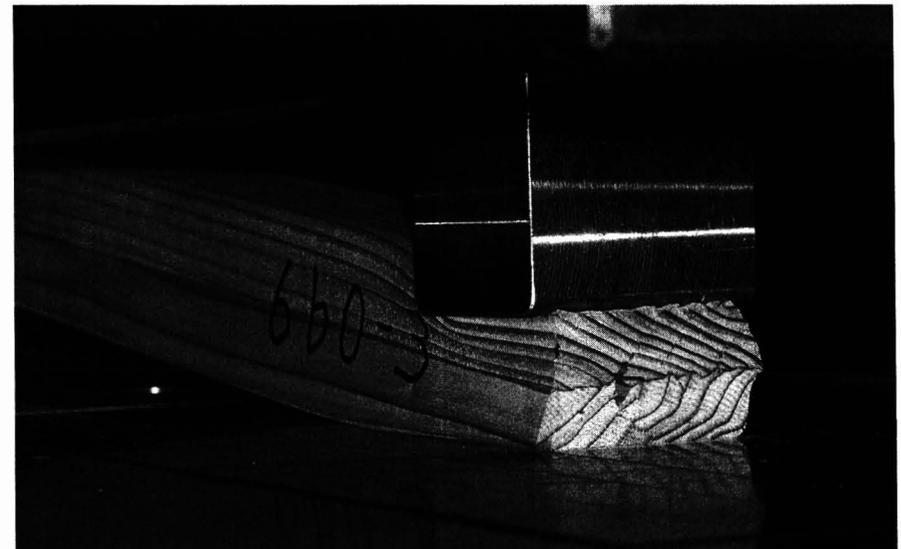


写真 4-16 6b0 における圧縮変形

3 試験体とも、非圧縮側の木口割れは発生しなかった。

付表 4-1 全試験体の各種測定値とめり込み試験強度等

試験体	試験体全寸 (mm)			木部高 (mm)		重量 g	密度 g/cm ³	変位2.50mm の荷重(kN)	めり込み試験 強度(N/mm ²)	CFシート積層板の 両端からの割れ※
	中央幅	中央高	長さ	hw1	hw2					
12a650-1	45.49	59.42	650	—	—	879.99	0.501	19.06	8.36	無, 無
12a650-2	45.05	59.40	650	—	—	887.16	0.510	20.96	9.29	無, 無
12a650-3	45.23	59.52	650	—	—	901.04	0.515	19.71	8.70	無, 無
平均	45.26	59.45	650			889.40	0.509	19.91	8.78	
12a350-1	45.60	59.30	650	50.31	50.20	700.15		18.74	8.20	小, 小
12a350-2	45.15	59.29	650	50.06	50.07	701.16		19.63	8.68	中, 中
12a350-3	45.41	59.44	650	50.29	50.23	720.69		20.34	8.94	小, 中
平均	45.39	59.34	650	50.22	50.17	707.33		19.57	8.61	
12a200-1	46.12	59.43	650	50.23	50.28	642.94		19.87	8.60	小, 中
12a200-2	45.31	59.31	650	50.17	50.16	621.85		19.26	8.48	小, 中
12a200-3	45.77	59.35	650	50.28	50.27	625.89		19.30	8.42	中, 中
平均	45.73	59.36	650	50.23	50.24	630.23		19.48	8.50	
12a0-1	45.47	50.33	650	—	—	512.33	0.344	8.96	3.93	
12a0-2	45.12	50.06	650	—	—	509.53	0.347	12.64	5.59	
12a0-3	45.22	50.34	650	—	—	535.30	0.362	9.52	4.20	
平均	45.27	50.24	650			519.05	0.351	10.37	4.58	

※ 小: 1~2cm長, 中: 数cm長, 大: 10cm長前後

試験体	試験体全寸 (mm)			木部高 hw (mm)	重量 g	密度 g/cm ³	変位2.50mm の荷重(kN)	めり込み試験 強度(N/mm ²)	CFシート積層板の 端部からの割れ※
	試験体全寸 (mm)	中央幅	中央高						
12b350-1	45.48	59.21	650	50.16	731.13		11.45	5.03	無
12b350-2	45.06	59.21	650	49.99	737.24		14.74	6.53	無
12b350-3	45.34	59.36	650	50.20	721.18		11.07	4.87	無
平均	45.29	59.26	650	50.12	729.85		12.42	5.48	
12b200-1	45.66	59.36	650	50.27	632.98		9.00	3.93	中
12b200-2	45.22	59.18	650	50.12	649.52		12.45	5.50	中
12b200-3	45.36	59.28	650	50.21	645.17		9.92	4.37	中
平均	45.41	59.27	650	50.20	642.56		10.46	4.60	
12b125-1	45.77	59.22	650	50.08	577.93		8.63	3.76	無
12b125-2	45.35	59.07	650	50.01	587.64		11.85	5.22	小
12b125-3	45.87	59.18	650	50.19	610.37		9.65	4.20	小
平均	45.66	59.16	650	50.09	591.98		10.04	4.39	
12b0-1	45.43	50.20	650	—	511.77	0.345	6.09	2.68	
12b0-2	45.07	50.12	650	—	527.38	0.359	7.65	3.39	
12b0-3	45.10	50.23	650	—	538.26	0.366	6.19	2.74	
平均	45.20	50.18	650		525.80	0.357	6.64	2.93	

※ 小: 1~2cm長, 中: 数cm長, 大: 10cm長前後

試験体 No.	試験体全寸 (mm)			木部高 (mm)		重量 g	密度 g/cm ³	変位2.50mm の荷重(kN)	めり込み試験 強度(N/mm ²)	CFシート積層板の 両端からの割れ※
	中央幅	中央高	長さ	hw1	hw2					
6a350-1	45.54	55.05	650	50.41	50.37	653.52		17.21	7.54	大, 大
6a350-2	45.30	54.82	650	50.27	50.20	621.91		17.14	7.55	無, 無
6a350-3	45.91	54.96	650	50.35	50.36	675.49		15.52	6.75	大, 大
平均	45.58	54.94	650	50.34	50.31	650.31		16.62	7.28	
6a0-1	45.45	50.31	650	—	—	560.99	0.377	11.82	5.19	
6a0-2	45.27	50.22	650	—	—	535.07	0.362	12.62	5.56	
6a0-3	45.40	50.31	650	—	—	558.68	0.376	11.48	5.05	
平均	45.37	50.28	650			551.58	0.372	11.97	5.27	

※ 小: 1~2cm長, 中: 数cm長, 大: 10cm長前後

試験体 No.	試験体全寸 (mm)			木部高 hw (mm)	重量 g	密度 g/cm ³	変位2.50mm の荷重(kN)	めり込み試験 強度(N/mm ²)	CFシート積層板の 端部からの割れ※
	試験体全寸 (mm)	中央幅	中央高						
6b200-1	45.53	55.08	650	50.46	615.27		11.00	4.82	大
6b200-2	45.02	54.81	650	50.33	578.01		12.94	5.74	無
6b200-3	45.43	55.06	650	50.44	591.10		11.65	5.12	大
平均	45.33	54.98	650	50.41	594.79		11.86	5.23	
6b0-1	45.60	50.59	650	—	561.31	0.374	8.58	3.76	
6b0-2	45.13	50.26	650	—	513.32	0.348	10.69	4.73	
6b0-3	45.47	50.52	650	—	545.93	0.366	8.46	3.71	
平均	45.40	50.46	650		540.19	0.363	9.24	4.07	

※ 小: 1~2cm長, 中: 数cm長, 大: 10cm長前後

引用文献

- 1) 柴田直明, 山口修由 (2004) C F 補強集成材 (1) 要素実験, 木質複合建築構造技術の開発平成 15 年度報告書 構造分科会, 国土交通省 国土技術政策総合研究所・(独)建築研究所・(財)日本建築センター, 530-549
- 2) 柴田直明, 遠藤善博, 齋藤潔, 橋爪丈夫, 山口修由 (2004.8, 北海道) 木質複合建築構造技術の開発 - 炭素繊維補強集成材の要素実験 -, 日本建築学会大会 学術講演梗概集 C-1 分冊, 303-304
- 3) 柴田直明, 橋爪丈夫, 遠藤善博, 高見祐介, 齋藤健, 齋藤潔, 井出勇, 樋口尚登, 月東秀夫, 石原茂久, 山口修由 (2004.8, 札幌) 炭素繊維複合強化集成材の開発 (XXI) C F シート積層接着板の面圧強さ, 日本木材学会大会 研究発表要旨集, 567
- 4) 柴田直明, 橋爪丈夫, 齋藤健, 齋藤潔, 遠藤善博, 高見祐介, 井出勇, 樋口尚登, 月東秀夫, 石原茂久, 山口修由 (2004.8, 札幌) 炭素繊維複合強化集成材の開発 (XXII) 鋼板添板ラグスクリュー接合部の一面せん断強さ, 日本木材学会大会 研究発表要旨集, 568
- 5) 柴田直明, 橋爪丈夫, 齋藤健, 齋藤潔, 遠藤善博, 高見祐介, 井出勇, 樋口尚登, 月東秀夫, 石原茂久, 山口修由 (2004.8, 札幌) 炭素繊維複合強化集成材の開発 (XXIII) 部分横圧縮強さ及び全面横圧縮強さ, 日本木材学会大会 研究発表要旨集, 569
- 6) 柴田直明, 橋爪丈夫 (2004.8) 炭素繊維複合強化集成材の開発 - 接合部に関する要素実験 -, 長野県林業総合センター 平成 15 年度業務報告, 112-115
- 7) 柴田直明, 橋爪丈夫 (2005.4) 炭素繊維複合強化集成材の開発 - 接合部に関する要素実験 (第 1 報) -, 長野県林業総合センター研究報告, 101-123
- 8) 長野県 (柴田直明, 橋爪丈夫) (2005.3) C F 補強集成材の性能に関する調査, (独)建築研究所 委託業務報告書, 全 100 ページ
- 9) 柴田直明, 橋爪丈夫, 遠藤善博, 笠井秀雄, 齋藤健, 齋藤潔, 井出勇, 樋口尚登, 月東秀夫, 石原茂久, 山口修由 (2005.3, 京都) 炭素繊維複合強化集成材の開発 (XXIV) 部分横圧縮強さ(続報), 日本木材学会大会 研究発表要旨集, 193
- 10) 柴田直明, 齋藤潔, 遠藤善博, 橋爪丈夫, 山口修由 (2005.9, 近畿) 木質複合建築構造技術の開発 - 炭素繊維補強集成材の要素実験 (第 2 報) -, 日本建築学会大会 学術講演梗概集 C-1 分冊, 235-236
- 11) 柴田直明, 橋爪丈夫 (2005.7) 炭素繊維複合強化集成材の開発 - 接合部に関する要素実験 (第 2 報) -, 長野県林業総合センター 平成 16 年度業務報告, 102-105
- 12) 遠藤善博, 小川博靖, 橋爪丈夫, 柴田直明, 齋藤潔, 石原茂久, 小松幸平 (2000.9, 東北) 炭素繊維複合強化集成材の開発 (II) (その 1) 炭素繊維複合強化集成材の連続製造システムに関する検討, 日本建築学会大会 学術講演梗概集 C-1 分冊, 231-232
- 13) 橋爪丈夫, 柴田直明, 小川博靖, 遠藤善博, 齋藤潔, 小松幸平, 石原茂久 (2000.9, 東北) 炭素繊維複合強化集成材の開発 (II) (その 2) 連続製造炭素繊維硬化シートを用いた実大試験体の評価, 日本建築学会大会 学術講演梗概集 C-1 分冊, 233-234
- 14) 小川博靖, 遠藤善博, 橋爪丈夫, 柴田直明, 齋藤潔, 小松幸平, 石原茂久 (2000.9, 東北) 炭素繊維複合強化集成材の開発 (II) (その 3) 炭素繊維強化集成材の実大継手試験体に関する曲げ試験, 日本建築学会大会 学術講演梗概集 C-1 分冊, 235-236
- 15) 柴田直明, 小松幸平, 齋藤潔, 小川博靖, 遠藤善博, 橋爪丈夫, 石原茂久 (2000.9, 東北) 炭素繊維複合強化集成材の開発 (II) (その 4) 柱-梁接合部の静的正負繰返し加力試験, 日本建築学会大会 学術講演梗概集 C-1 分冊, 237-238
- 16) 柴田直明, 橋爪丈夫 (2000.4) 炭素繊維複合強化集成材の開発 - 炭素繊維複合強化集成材の性能を十分に発現させ得る接合方法の開発 -, 長野県林業総合センター 平成 11 年度業務報告, 72-77