

# 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3報) \* —

柴田直明・橋爪丈夫

(独)建築研究所からの委託業務「CF補強集成材の接合性能に関する調査」(2005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)合板のようにCF配向を交互に直交させたCFシート積層板を作製し、その面圧強さを評価したところ、種々の方向からの力が作用する接合部の補強に適していることが示された。(2)鋼板挿入型二面せん断接合において、接合部のみを上記(1)のCFシート積層板で補強して縦引張試験を実施したところ、接合性能を大幅に向上させ得ること及び接合部のコンパクト化も可能なことが示された。(3)上記(2)と同様の試験体について横引張試験を実施したところ、接合部のCF補強効果はより顕著であり、木材の弱点である割裂(繊維直交)方向の強度を大幅に改善させ得ることが示された。  
キーワード：木質ハイブリッド、炭素繊維強化、面圧強さ、鋼板挿入型接合部、縦・横引張型二面せん断強さ

### 1 緒言

炭素繊維〔以下、CFと表記〕複合強化集成材の利用に向けては、接合部の設計に必要となる各種のデータの蓄積が急務である。

そこで、2003～2004年度の各種試験<sup>1-13)</sup>に引き続き、2005年度は次の3項目について、より詳細な検討を行った<sup>14-19)</sup>。

- (1) CFシート積層板の面圧強さ
- (2) CF補強接合部の縦引張型二面せん断強さ
- (3) CF補強接合部の横引張型二面せん断強さ

なお、ここでは種々の方向からの力が作用する接合部を想定し、そのような接合部のみを補強に適したCFシートの積層接着方法から検討した。

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、CF関係の用語を表1-1のように限定して使用する。

図表と写真は「2」～「4」別にそれぞれの本文の後に、参考文献は最後にまとめて記載する。

また、本研究報告において既に報告した同題第1報<sup>7)</sup>、第2報<sup>13)</sup>を引用する際には、単に第1報、第2報と記す。

表1-1 本報におけるCF関係の用語と、その製法・性能等<sup>20-23)</sup>

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 <sup>2</sup> ，引張弾性率：236 kN/mm <sup>2</sup> ，密度：1.77 g/cm <sup>3</sup>
CFシート	上記のCFをすべて長さ方向に配向させた 300g/m <sup>2</sup> 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、木材用のレゾール樹脂で積層接着して作製した板状のもの。接着剤塗布量：200 g/m <sup>2</sup> ，圧縮条件：0.8 MPa，常温，1日

\* 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補強集成材の接合性能に関する調査」(2005年度)として行われた。

本研究は、(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 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<sup>1-3,6,7,11)</sup>。

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<sup>1-3,6,7,11)</sup>。

2004年度の試験では、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、2003年度と同様の試験体において端距離を変えた試験を設定し、それらを比較・検討した。その結果、CFシート積層板においても、端距離の影響が顕著に現れることを明らかにした。特に、CFを長さ方向に配向させた基材の両表面に、CF配向を直交させたシートを追加接着したもので、優れた特性が確認された<sup>8,10-13)</sup>。

また、スギ材とカラマツ材についても、この試験方法による端距離と面圧強さの関係を明らかにした。

ただし、以上のCFシートの試験では、いずれもCF配向を長さ方向とするものを基本にしていた。

そこで、2005年度は接合部のみの補強を想定し、合板のようにCF配向を交互に直交させたCFシート積層板を作製し、その効果を検討した。また、木材としてはベイマツを試験体とした<sup>14,15,18,19)</sup>。

### 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[写真2-1,2]。

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。本年度のCFシート積層板は、全シリーズとも7枚積層に統一した。試験体長は、表2-1のCF(2-6L)とCF(1,7L)のみ150mm

とした。

コントロールのベイ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、L125とした。そして、昨年度のスギ・カラマツ材と同様、晩材部が各試験体に原則として1層含まれるように、年輪幅が約5mmの部分を選び、プレーナによって5.0mm厚に仕上げた。

具体的な試験体の作製方法を、図2-2に示す。

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。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。

試験体は20℃、相対湿度65%の恒温恒湿室内で48時間以上（実際には9～29日間）養生した後、試験に供した。

#### 2.1.2 試験方法

試験方法を、図2-1に示す。また、試験体の寸法測定は第1報<sup>7)</sup>の図2-2のようにした。

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、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、ミネベア(株)製万能試験機TCM-5000C（最大荷重50kN）を使用した。荷重速度は、CFシート積層板で2mm/min、ベイマツ材で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[第1報<sup>7)</sup>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。

結果の評価に当たっては、第1,2報<sup>7,13)</sup>と同様、まずJISのB法に従い、次式から面圧強さを求めた。

面圧強さ = 最大荷重 / (ピン径 × 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。めり込み試験終局強度は、上記の式の「最大荷重」を「終局耐力直線の荷重値[第1報<sup>7)</sup>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 試験体の破壊過程と荷重-変位曲線

全試験体について荷重と各種変位の経時変化を測定し、それぞれの荷重-変位曲線を求めた。図2-3に、CF(奇数L)、CF(偶数L)、CF( $\pm 45^\circ$ )及びCF(2-6L)以下の4グループに分けて、それぞれの荷重-変位曲線を示す。荷重-変位曲線の横軸は、載荷開始後のアーム下降量(全変位)とした。

また、各シリーズの代表的な最終破壊形状を、写真2-3に示す。

これらのデータから各シリーズの特徴を比較するに当たっては、まず、CF(2-6L)シリーズ[図2-3の右下、写真2-3]から検討する。この試験体は昨年度と同様のCFシート構成としたが、CF配向が長さ(L)方向となる中央のシート(平行層)を6枚から5枚に減らした。荷重-変位曲線の最初の立ち上がり後、最外層の直交シートが徐々にめくれつつ最大荷重を更新し、最終的には平行層のせん断抜けで破壊した。最大荷重が昨年度より小さいのは、主として積層数の減少によると思われる。荷重-変位曲線の形状は、昨年度とほぼ同様であった。

CF(1,7L)シリーズ[図2-3の右下、写真2-3]は、上記CF(2-6L)シリーズの試験体を直交方向に引張ったものである。CF(1,7L)シリーズの荷重-変位曲線は、全体に上記CF(2-6L)シリーズのものより低い位置にあった。また、変位が小さい内に中央部の直交シート層の割裂と最外層の平行シートのせん断抜けによって、瞬間的に完全に破壊された。

CF(奇数L)シリーズ[図2-3の左上、写真2-3]は、本年度から新たに検討を開始したもので、各CFシートのCF配向を交互に直交させて積層接着したものである(奇数枚目のCFシート配向がL方向)。荷重-変位曲線の最初の立ち上がり後、

直交シートの破壊を伴いながら最大荷重を更新した。その後、平行シートのせん断抜けを伴い、破壊が進行した。なお、端距離が長いほど、粘りのある部材になっていた。

CF(偶数L)シリーズ[図2-3の右上、写真2-3]は、CF(奇数L)シリーズの試験体を直交方向に引張ったものである(偶数枚目のCFシート配向がL方向)。このシリーズでも、荷重-変位曲線の最初の立ち上がり後、直交シートの破壊を伴いながら最大荷重を更新した。その後、平行シートのせん断抜けを伴い、破壊が進行した。ここでも、端距離が大きいほど、最大荷重と粘りが大きかった。この傾向は、特に本シリーズで顕著であった。

なお、CF(2-6L)シリーズ、CF(奇数L)シリーズ及びCF(偶数L)シリーズでは、部分的に剥離した直交シートが図2-1の面圧強さ試験用治具内側や平行(L方向)シート間に挟まれる状態が生じた(特に、CF(偶数L)シリーズで顕著、写真2-3の右下)。

そこで、この傾向が強く認められたCF(奇数L)及びCF(偶数L)シリーズの7dと5d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、最終的に破壊した側のピン1本のみを抜いた状態にして5mm/minで再度引張ってみた。その結果、最大荷重値としてCF(奇数L)シリーズの7dで1.20~1.85kN、同5dで0.50~0.65kN、CF(偶数L)シリーズの7dで1.8~3.0kN、同5dで0.15~1.0kN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楔(くさび)のように作用し、荷重値が過大評価になっている可能性がある。ただし、実際の接合部でも同様の効果が期待できるものと思われる。そこで、本報告書では試験条件を明記した上で、この荷重-変位曲線をそのまま使って以下の検討を進めた。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8.14mm、下部が8.76mmであった。

次に、CF( $\pm 45^\circ$ )シリーズ[図2-3の左下、写真2-3]は、CF(奇数L)シリーズ及びCF(偶数L)シリーズの試験体を $45^\circ$ の方向に引張ったものである。このシリーズでは、荷重-変位曲線の最初の立ち上がり後、最外部のCFシートが繊維方向に沿ってめくれ始めた。最終的にはCFシート

間の接着面でせん断破壊を生じ、瞬間的に穴の外側全体が抜けて荷重値をほぼ0とした。このシリーズでは、端距離の影響がほとんど認められなかった。このことは、最終破壊強度が主として穴の両側の接着面積（写真2-3内の図における直角三角形2つの面積の合計）で決まることを示唆している。

ベイマツシリーズ [図2-3の右下, 写真2-3] は、スギやカラマツの場合と同様、荷重-変位曲線が低く、かつ短かった。最終的な破壊は、主として繊維方向の割裂であった。

### 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、表2-2及び付表2-1(1/3)~(2/3)に示す。CFシート積層板の平均密度は $1.36 \text{ g/cm}^3$ 、ベイマツ板目板の平均密度は $0.55 \text{ g/cm}^3$ 、ベイマツの平均含水率は13.0%であった。

また、用いたピン(ボルトのネジ切りのない部分)の直径は、実測値で平均7.80 mmであった。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でない場合が多かったため、ピン(ボルト)直径と試験体厚さはそれぞれの平均値を用いた。

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 [第1報<sup>7)</sup>の図2-3] を、表2-2及び付表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、第1報<sup>7)</sup>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、第1報<sup>7)</sup>の図2-3において、面積を等しくする直線③が引けなかったことを示す。

以上の主たる部分の平均値を、表2-2にまとめて示す。

以上の結果を主として図2-3と表2-2において比較すると、面圧強さとめり込み試験終局強度はCF(偶数L)7dでやや大きく、CF(1,7L)で小さかった。その他については、CF(偶数L)シリーズで端距離の影響が見られ、CF( $\pm 45^\circ$ )シリーズで端距離の影響がほとんど認められない等の特徴はあっ

たものの、強度値に大差はなかった。粘りについては、CF(偶数L)-7dのみが著しく大きかった。

めり込み試験剛性は、端距離5dについて比較すると、 $CF(2-6L) > CF(\text{奇数} L)$ 、 $CF(\text{偶数} L) > CF(1,7L) > CF(\pm 45^\circ)$ となった。前4者については、主として長さ方向に平行なCF配向を持つシートの枚数に関係しているものと思われる。CF( $\pm 45^\circ$ )は、全てのCF配向が $45^\circ$ であることが影響しているものと考えられる。

最後に全体を通して比較すると、CF配向を交互に直交させた試験体CF(奇数L)シリーズとCF(偶数L)シリーズでは、端距離を十分にとれば面圧強さ・めり込み試験終局強度・粘りの全てにおいて優れた性能を有することが確認された。

CF( $\pm 45^\circ$ )シリーズも、面圧強さ・めり込み試験終局強度は十分に大きかったが、最終破壊の段階で脆かった。

CF配向が長さ方向のシートを中央にまとめて積層したCF(2-6L)とその逆のCF(1,7L)では、後者が脆かった。

試験体幅を十分に大きくすれば、CF( $\pm 45^\circ$ )の粘りは増大するものと思われるが、CF(1,7L)の粘りはあまり期待できない。

よって、種々の方向からの力を受けるような接合部において、接合部のみを補強するのであれば、CF配向を交互に直交させた積層板の方が適していると思われる。また、最外層のCF配向は、主たる加力方向に対して直交させた方が有利であると思われる。

表 2-1 面圧強さ試験体の仕様と試験体記号\*等

積層枚数	CFシート積層板の層構成(長さ方向基準)・樹種		シリーズ名	端距離 (d: 8 mm)		試験体 No.
	CF 配向: 平行	CF 配向: 直交		7 d	5 d	
7 枚	奇数枚目	偶数枚目	CF(奇数 L)	7 d		071, 072, 073
				5 d		051, 052, 053
				3 d		031, 032, 033
7 枚	偶数枚目	奇数枚目	CF(偶数 L)	7 d		171, 172, 173
				5 d		151, 152, 153
				3 d		131, 132, 133
7 枚	交互に±45°		CF(±45°)	7 d		271, 272, 273
				5 d		251, 252, 253
				3 d		231, 232, 233
7 枚	2~6 枚目	1, 7 枚目	CF(2-6L)	5 d	351, 352, 353	
7 枚	1, 7 枚目	2~6 枚目	CF(1,7L)	5 d	451, 452, 453	
ベイツ板目板 (5.0 mm 厚)			ベイツ	7 d		571, 572, 573
				5 d		551, 552, 553

\* 試験体記号は「シリーズ名」-「端距離」とし、CF(奇数 L)-7d 等と記載する。

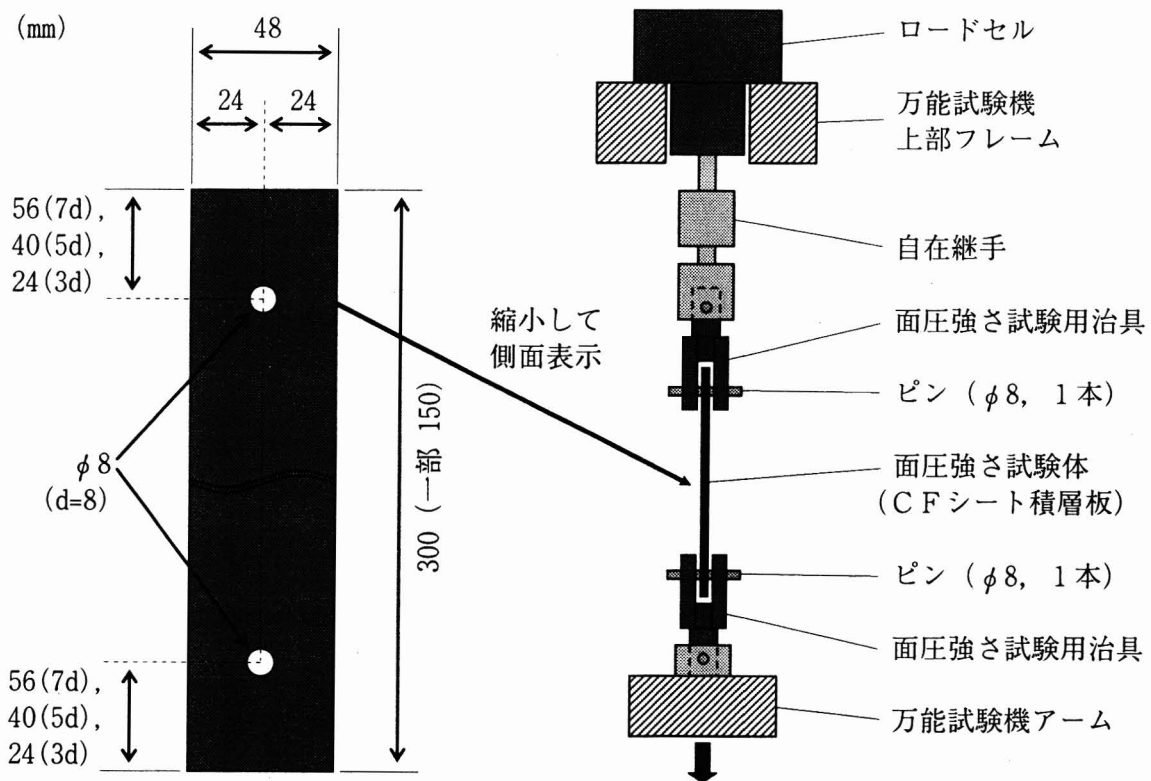
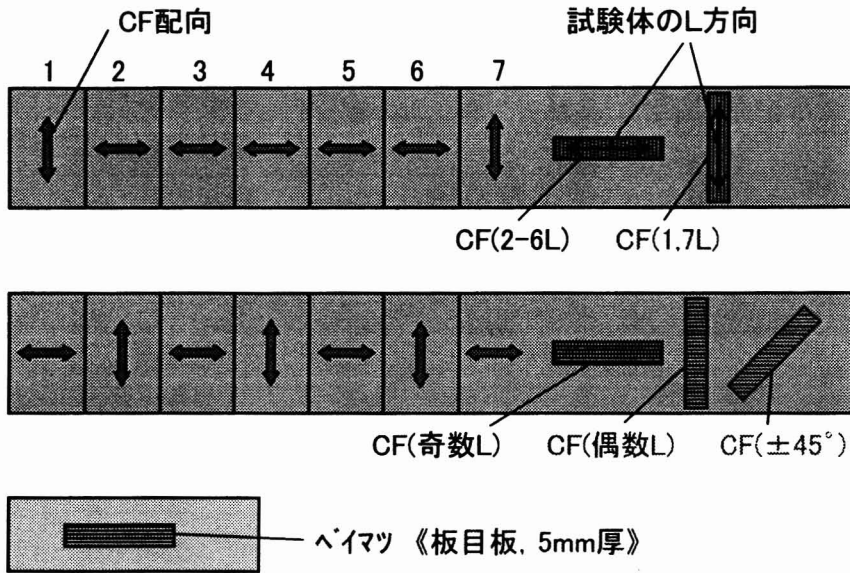


図 2-1 面圧強さ試験体の寸法と試験方法



左の上・中段の図では、  
左側 2/3 にCFシート 7枚  
(1-7枚目)を積層する際の  
CF配向を示す。

右側 1/3 には、7枚積層  
後の試験体切り出し方法を  
示す。

(試験体記号は表 2-1 参照)

ベイマツ試験体は、長軸  
方向を繊維方向とした。

図 2-2 面圧強さ試験体の仕様

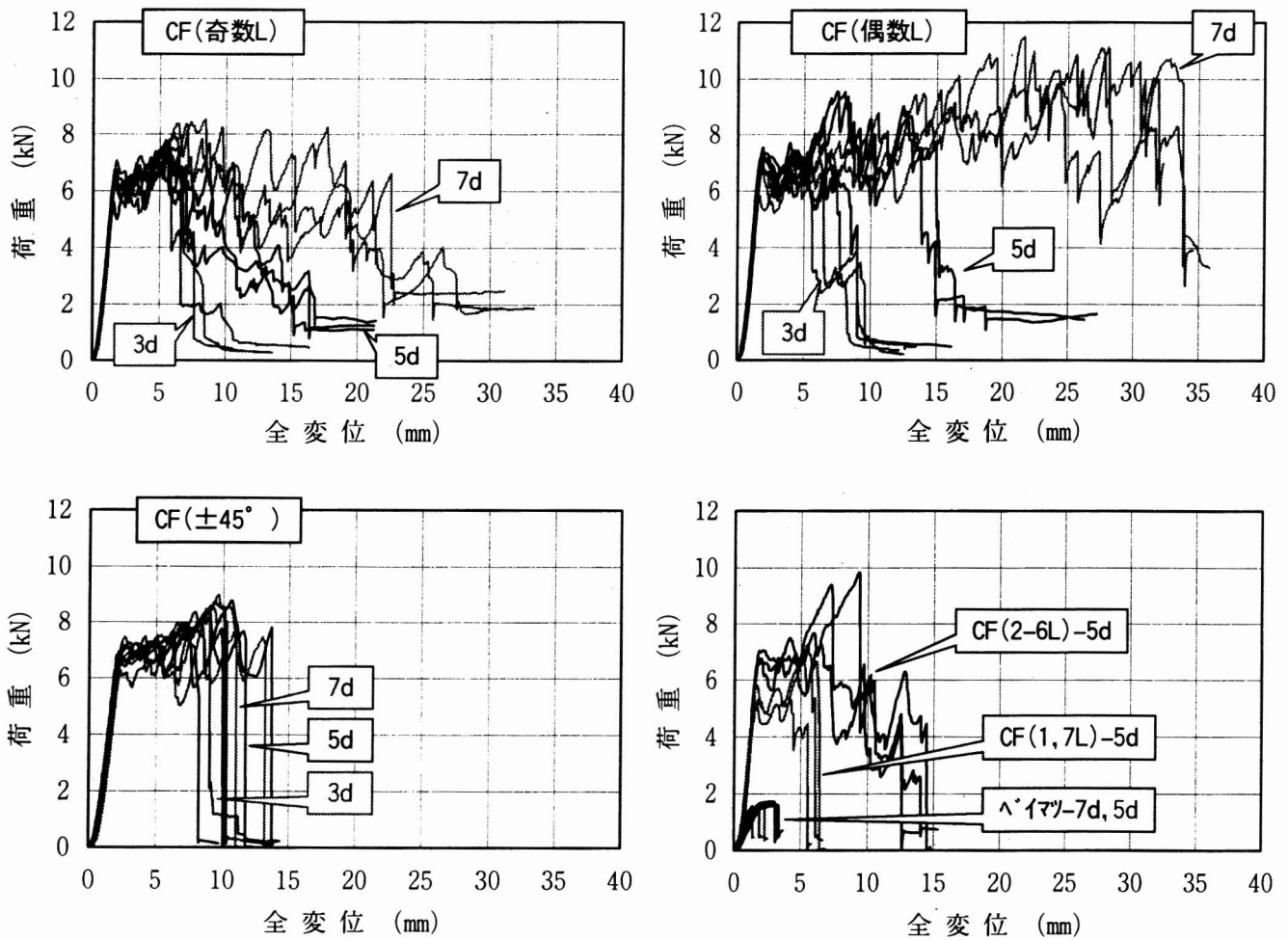


図 2-3 面圧強さ試験体すべての荷重—変位曲線

表 2-2 面圧強さ試験体の各種測定値と試験結果 (平均値)

試験体 記号	厚さ (mm)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	含水率 (%)	面圧強さ (N/mm <sup>2</sup> )	めり込み 試験剛性 (kN/mm)	めり込み 試験終局強度※ (N/mm <sup>2</sup> )
CF(奇数L)-7d	4.95	1.363	—	213	9.58	177
CF(奇数L)-5d	4.96	1.367	—	194	9.23	169
CF(奇数L)-3d	4.94	1.366	—	194	9.31	173
CF(偶数L)-7d	4.98	1.359	—	278	10.84	201
CF(偶数L)-5d	4.97	1.362	—	227	9.24	185
CF(偶数L)-3d	4.95	1.368	—	192	8.61	(177)
CF(±45°)-7d	4.96	1.366	—	218	7.63	189
CF(±45°)-5d	4.96	1.360	—	213	7.02	185
CF(±45°)-3d	4.95	1.363	—	218	6.59	183
CF(2-6L)-5d	4.96	1.353	—	232	11.37	185
CF(1, 7L)-5d	4.94	1.352	—	170	8.35	(143)
ハ イマツ-7d	5.08	0.549	13.3	41.6	2.07	39.7
ハ イマツ-5d	5.10	0.559	12.8	39.7	2.53	37.6

※ ( ): 2体の平均値 (1体算出不可)

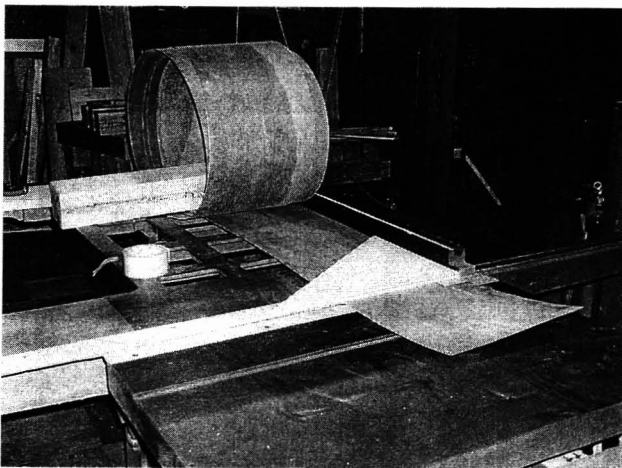


写真 2-1 木工用チップソーによる  
CFシートの鋸断  
(写真の CFシートは幅 300 mm)

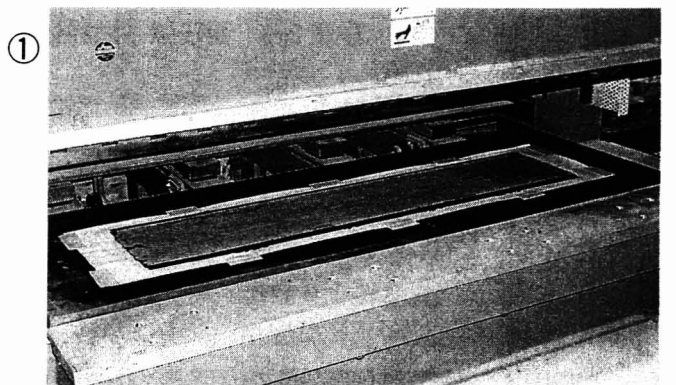
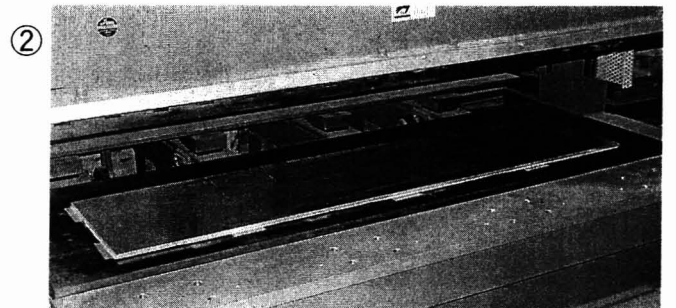
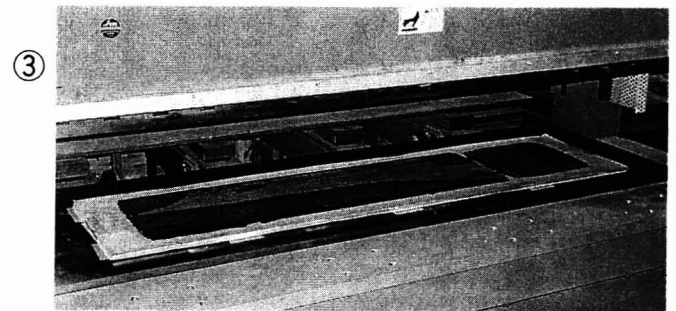


写真 2-2 プレスによるCFシートの積層接着

《写真 2-2 の説明》

- ①: 下段にCF(奇数L)・CF(偶数L)用のCFシート積層板を置く (上下を離型紙で挟む)
- ②: その上に 10 mm 厚のアルミニウム板を置く
- ③: その上にCF(±45°)とCF(2-6L)・CF(1, 7L)用のCFシート積層板を置く (上下を離型紙で挟む)

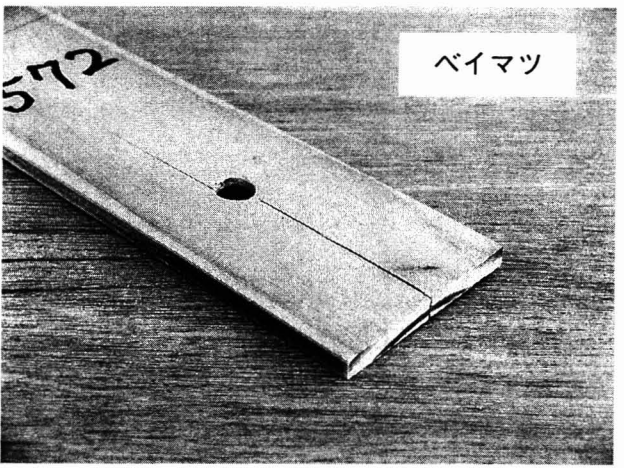
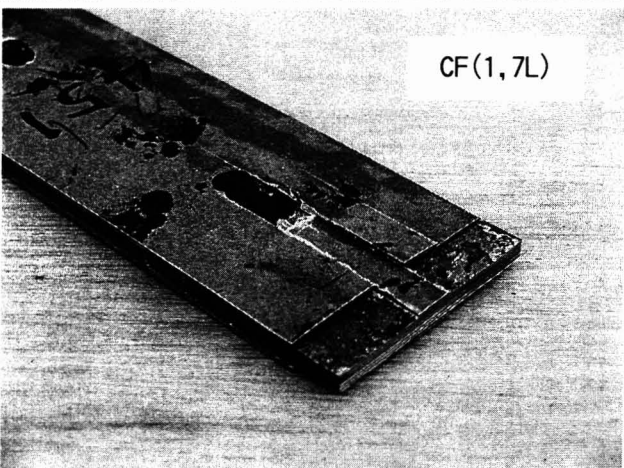
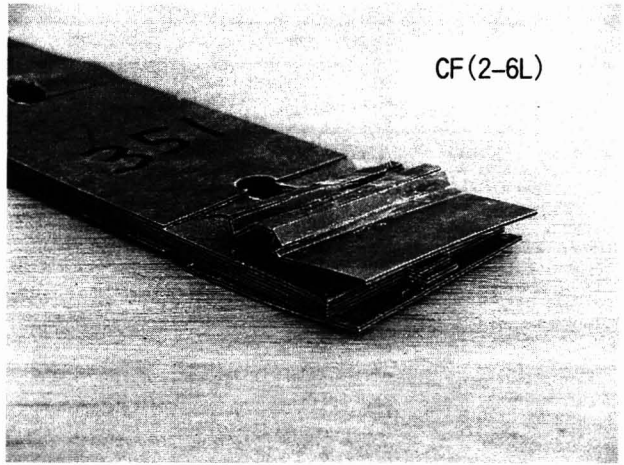
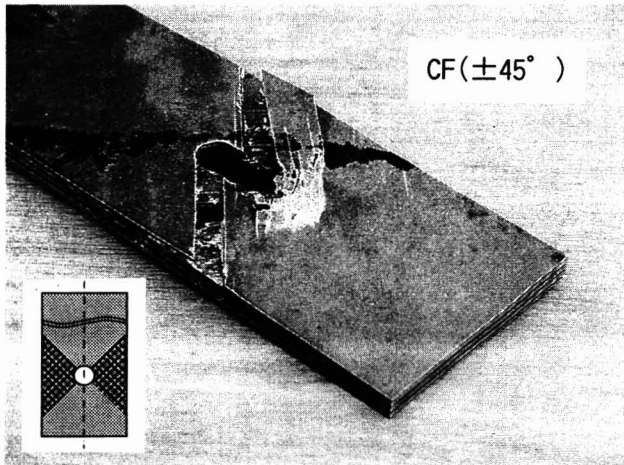
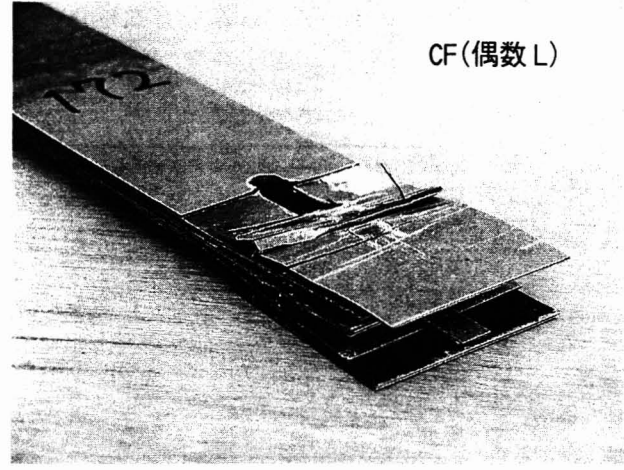
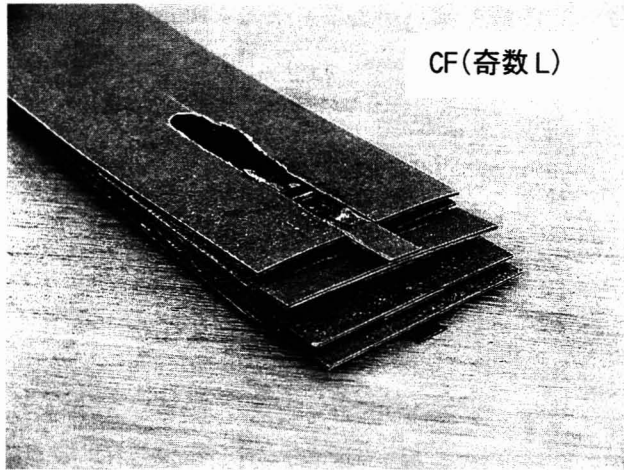
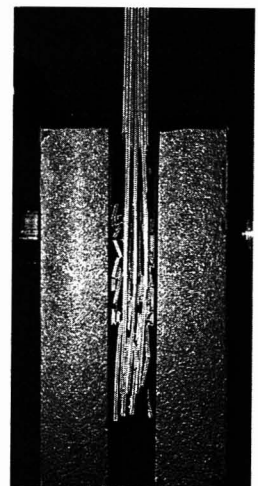


写真 2-3 面圧強さ試験体の最終破壊形状

右の写真は、CF(偶数 L)の破壊過程





付表 2-1(1/3) 面圧強さ試験体の各種測定値と試験結果のまとめ (その1)

試験体記号 (d:8mm)	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
CF(奇数L)-7d	071	7.93	7.91	52.12	48.28	4.94	7.91	7.90	52.44	48.30	4.93
	072	7.90	7.89	52.33	48.30	4.96	7.89	7.90	52.35	48.31	4.97
	073	7.89	7.90	52.40	48.25	4.95	7.89	7.90	52.48	48.27	4.96
	平均	7.91	7.90	52.28	48.28	4.95	7.90	7.90	52.42	48.29	4.95
	STDEV	0.021	0.010	0.146	0.025	0.010	0.012	0.000	0.067	0.021	0.021
CF(奇数L)-5d	051	7.89	7.87	36.31	48.31	4.94	7.90	7.87	36.22	48.27	4.97
	052	7.88	7.87	36.29	48.29	4.98	7.87	7.85	36.52	48.30	4.95
	053	7.86	7.87	36.26	48.27	4.95	7.87	7.84	36.21	48.26	4.95
	平均	7.88	7.87	36.29	48.29	4.96	7.88	7.85	36.32	48.28	4.96
	STDEV	0.015	0.000	0.025	0.020	0.021	0.017	0.015	0.176	0.021	0.012
CF(奇数L)-3d	031	7.96	7.96	20.46	48.31	4.94	7.97	7.96	19.91	48.32	4.96
	032	7.97	7.95	20.37	48.11	4.92	7.93	7.94	20.35	48.26	4.90
	033	7.95	7.93	20.48	48.27	4.98	7.93	7.92	20.27	48.29	4.93
	平均	7.96	7.95	20.44	48.23	4.95	7.94	7.94	20.18	48.29	4.93
	STDEV	0.010	0.015	0.059	0.106	0.031	0.023	0.020	0.234	0.030	0.030
CF(偶数L)-7d	171	7.88	7.85	52.41	48.32	4.96	7.86	7.86	52.47	48.31	4.95
	172	7.90	7.89	52.34	48.21	4.99	7.89	7.87	52.36	48.29	4.94
	173	7.88	7.85	52.38	48.30	5.07	7.87	7.86	52.42	48.31	4.98
	平均	7.89	7.86	52.38	48.28	5.01	7.87	7.86	52.42	48.30	4.96
	STDEV	0.012	0.023	0.035	0.059	0.057	0.015	0.006	0.055	0.012	0.021
CF(偶数L)-5d	151	7.98	7.94	36.18	48.32	4.99	7.97	7.94	36.18	48.30	4.94
	152	7.98	7.93	36.19	48.26	5.01	7.96	7.94	36.29	48.28	4.92
	153	8.00	7.94	36.33	48.24	5.02	7.98	7.96	36.30	48.33	4.96
	平均	7.99	7.94	36.23	48.27	5.01	7.97	7.95	36.26	48.30	4.94
	STDEV	0.012	0.006	0.084	0.042	0.015	0.010	0.012	0.067	0.025	0.020
CF(偶数L)-3d	131	7.97	7.95	20.33	48.27	4.95	7.95	7.95	20.32	48.30	4.88
	132	7.95	7.93	20.48	48.33	5.00	7.95	7.93	20.37	48.39	4.93
	133	7.94	7.93	20.47	48.28	4.97	7.93	7.92	20.28	48.32	4.95
	平均	7.95	7.94	20.43	48.29	4.97	7.94	7.93	20.32	48.34	4.92
	STDEV	0.015	0.012	0.084	0.032	0.025	0.012	0.015	0.045	0.047	0.036
CF(±45°)-7d	271	7.87	7.88	52.32	48.35	4.96	7.90	7.89	52.24	48.12	4.90
	272	7.91	7.89	52.47	48.41	4.97	7.91	7.88	52.46	48.24	4.96
	273	7.89	7.90	52.40	48.37	4.97	7.93	7.92	52.41	48.33	4.98
	平均	7.89	7.89	52.40	48.38	4.97	7.91	7.90	52.37	48.23	4.95
	STDEV	0.020	0.010	0.075	0.031	0.006	0.015	0.021	0.115	0.105	0.042
CF(±45°)-5d	251	7.96	7.93	36.31	48.27	5.02	7.95	7.94	36.29	48.24	4.94
	252	7.94	7.92	36.24	48.38	4.97	7.96	7.94	36.29	48.31	4.94
	253	7.93	7.93	36.23	48.36	4.97	7.95	7.93	36.35	48.33	4.93
	平均	7.94	7.93	36.26	48.34	4.99	7.95	7.94	36.31	48.29	4.94
	STDEV	0.015	0.006	0.044	0.059	0.029	0.006	0.006	0.035	0.047	0.006
CF(±45°)-3d	231	7.90	7.92	20.37	48.08	4.97	7.91	7.92	20.51	48.18	4.96
	232	7.93	7.94	20.46	48.44	4.98	7.93	7.93	20.32	48.32	4.92
	233	7.93	7.94	20.38	48.40	4.94	7.92	7.93	20.58	48.30	4.95
	平均	7.92	7.93	20.40	48.31	4.96	7.92	7.93	20.47	48.27	4.94
	STDEV	0.017	0.012	0.049	0.197	0.021	0.010	0.006	0.135	0.076	0.021
CF(2-6L)-5d	351	7.82	7.83	36.52	48.18	4.96	7.85	7.85	36.37	48.20	4.96
	352	7.84	7.83	36.26	48.18	4.95	7.83	7.82	36.35	48.21	4.97
	353	7.84	7.83	36.16	48.16	4.97	7.84	7.83	36.34	48.16	4.97
	平均	7.83	7.83	36.31	48.17	4.96	7.84	7.83	36.35	48.19	4.97
	STDEV	0.012	0.000	0.186	0.012	0.010	0.010	0.015	0.015	0.026	0.006
CF(1, 7L)-5d	451	7.81	7.82	36.44	48.53	4.95	7.84	7.85	36.38	48.55	4.90
	452	7.84	7.83	36.39	48.48	4.91	7.82	7.82	36.54	48.52	4.99
	453	7.84	7.83	36.38	48.60	4.97	7.85	7.83	36.45	48.63	4.91
	平均	7.83	7.83	36.40	48.54	4.94	7.84	7.83	36.46	48.57	4.93
	STDEV	0.017	0.006	0.032	0.060	0.031	0.015	0.015	0.080	0.057	0.049
へ°イマツ-7d	571	8.06	7.98	52.26	48.05	5.06	8.07	8.00	52.24	47.97	5.10
	572	8.07	8.02	52.40	47.93	5.08	8.10	8.01	52.18	48.05	5.10
	573	8.07	7.99	52.36	48.04	5.07	8.08	8.00	52.44	47.98	5.09
	平均	8.07	8.00	52.34	48.01	5.07	8.08	8.00	52.29	48.00	5.10
	STDEV	0.006	0.021	0.072	0.067	0.010	0.015	0.006	0.136	0.044	0.006
へ°イマツ-5d	551	8.02	7.98	36.20	48.02	5.14	8.05	7.99	36.27	47.98	5.06
	552	8.03	7.98	36.31	47.97	5.13	8.04	7.99	36.38	47.93	5.11
	553	7.99	7.98	36.30	48.00	5.08	8.03	7.97	36.27	47.92	5.10
	平均	8.01	7.98	36.27	48.00	5.12	8.04	7.98	36.31	47.94	5.09
	STDEV	0.021	0.000	0.061	0.025	0.032	0.010	0.012	0.064	0.032	0.026



付表 2-1(3/3) 面圧強さ試験体の各種測定値と試験結果のまとめ (その3)

「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 (d:8mm)	試験体 No.	直線①の傾き	めりこみ試験剛性	直線①のX軸交点	めりこみ試験終局			Pmaxの座標		めりこみ試験終局強度	曲線下の面積
		al (kN/mm)	(kN/mm)	X0 (mm)	Xu (mm)	Yu (kN)	XPmax (mm)	YPmax (kN)	Pu (N/mm <sup>2</sup> )	(kN・mm)	
CF(奇数L)-7d	071	4.706	9.41	0.38	1.74	6.431	8.20	7.829	167	45.91	
	072	4.891	9.78	0.36	1.76	6.840	7.01	8.357	177	40.68	
	073	4.777	9.55	0.37	1.88	7.206	8.44	8.529	186	52.73	
	平均	4.79	9.58	0.37	1.79	6.83	7.88	8.24	177	46.44	
	STDEV	0.093	0.187	0.010	0.076	0.388	0.766	0.365	9.7	6.042	
CF(奇数L)-5d	051	4.748	9.50	0.27	1.66	6.593	5.74	7.446	171	31.47	
	052	4.431	8.86	0.28	1.66	6.143	5.52	7.317	159	27.94	
	053	4.669	9.34	0.20	1.67	6.858	5.43	7.783	178	30.80	
	平均	4.62	9.23	0.25	1.66	6.53	5.56	7.52	169	30.07	
	STDEV	0.165	0.330	0.044	0.006	0.361	0.159	0.241	9.6	1.875	
CF(奇数L)-3d	031	4.485	8.97	0.26	1.70	6.487	4.88	7.054	168	25.30	
	032	4.734	9.47	0.28	1.67	6.561	5.71	7.812	171	31.06	
	033	4.752	9.50	0.33	1.79	6.916	5.23	7.513	179	28.83	
	平均	4.66	9.31	0.29	1.72	6.65	5.27	7.46	173	28.40	
	STDEV	0.149	0.298	0.036	0.062	0.229	0.417	0.382	5.6	2.904	
CF(偶数L)-7d	171	5.674	11.35	0.50	1.95	8.222	21.63	11.502	213	167.79	
	172	5.020	10.04	0.45	1.87	7.134	24.16	9.825	184	164.11	
	173	5.563	11.13	0.52	1.96	8.041	27.54	11.094	205	211.47	
	平均	5.42	10.84	0.49	1.93	7.80	24.44	10.81	201	181.12	
	STDEV	0.350	0.700	0.036	0.049	0.583	2.965	0.875	14.8	26.345	
CF(偶数L)-5d	151	4.755	9.51	0.42	2.00	7.513	8.02	9.531	194	51.13	
	152	4.126	8.25	0.34	1.88	6.383	6.82	7.340	165	36.44	
	153	4.977	9.95	0.28	1.81	7.639	7.41	9.558	196	48.64	
	平均	4.62	9.24	0.35	1.90	7.18	7.42	8.81	185	45.40	
	STDEV	0.441	0.883	0.070	0.096	0.692	0.600	1.273	17.5	7.862	
CF(偶数L)-3d	131	4.202	8.40	0.26	1.85	6.666	4.31	7.273	174	21.69	
	132	4.288	8.58	0.30			1.85	7.241		5.68	
	133	4.418	8.84	0.28	1.85	6.959	6.04	7.715	180	34.63	
	平均	4.30	8.61	0.28	1.85	6.81	4.07	7.41	177	20.67	
	STDEV	0.109	0.217	0.020	0.000	0.207	2.106	0.265	4.2	14.502	
CF(±15°)-7d	271	3.943	7.886	0.57	2.51	7.630	10.43	8.537	198	67.84	
	272	3.558	7.116	0.61	2.52	6.802	8.01	7.783	176	43.85	
	273	3.945	7.890	0.32	2.22	7.508	9.62	8.992	193	62.70	
	平均	3.82	7.63	0.50	2.42	7.31	9.35	8.44	189	58.13	
	STDEV	0.223	0.446	0.157	0.170	0.447	1.232	0.611	12.0	12.631	
CF(±15°)-5d	251	3.424	6.848	0.41	2.44	6.939	6.97	7.572	179	38.47	
	252	3.516	7.032	0.37	2.41	7.168	10.66	8.773	185	66.43	
	253	3.584	7.168	0.30	2.34	7.325	8.67	8.354	190	53.86	
	平均	3.51	7.02	0.36	2.40	7.14	8.77	8.23	185	52.92	
	STDEV	0.080	0.161	0.056	0.051	0.194	1.847	0.610	5.6	14.004	
CF(±15°)-3d	231	3.321	6.642	0.39	2.42	6.744	8.98	8.173	174	51.09	
	232	3.279	6.558	0.39	2.66	7.428	7.81	8.353	192	46.70	
	233	3.290	6.580	0.41	2.54	6.991	9.43	8.766	181	55.62	
	平均	3.30	6.59	0.40	2.54	7.05	8.74	8.43	183	51.14	
	STDEV	0.022	0.044	0.012	0.120	0.346	0.836	0.304	9.2	4.460	
CF(2-6L)-5d	351	5.793	11.586	0.60	1.86	7.299	9.32	9.835	189	59.07	
	352	5.216	10.432	0.53	1.85	6.858	5.89	7.667	177	32.22	
	353	6.049	12.098	0.53	1.74	7.278	7.21	9.410	188	44.20	
	平均	5.69	11.37	0.55	1.82	7.15	7.47	8.97	185	45.16	
	STDEV	0.427	0.853	0.040	0.067	0.249	1.730	1.149	6.3	13.451	
CF(1, 7L)-5d	451	4.201	8.402	0.34	1.62	5.393	6.11	6.648	140	27.68	
	452	4.388	8.776	0.43	1.70	5.598	5.42	7.247	145	24.38	
	453	3.933	7.866	0.27			1.73	5.792		4.57	
	平均	4.17	8.35	0.35	1.66	5.50	4.42	6.56	143	18.88	
	STDEV	0.229	0.457	0.080	0.057	0.145	2.355	0.731	3.3	12.499	
へイマツ-7d	571	0.989	1.978	0.16	1.70	1.523	3.34	1.589	38.4	3.67	
	572	1.011	2.022	0.38	1.90	1.537	2.89	1.639	38.7	2.69	
	573	1.098	2.196	0.15	1.66	1.661	2.72	1.726	41.9	3.01	
	平均	1.03	2.07	0.23	1.75	1.57	2.98	1.65	39.7	3.12	
	STDEV	0.058	0.115	0.130	0.129	0.076	0.320	0.069	1.94	0.500	
へイマツ-5d	551	1.092	2.184	0.13	1.52	1.523	2.27	1.601	38.3	2.20	
	552	1.337	2.674	0.16	1.24	1.449	1.92	1.576	36.3	1.77	
	553	1.371	2.742	0.10	1.21	1.520	1.39	1.568	38.3	1.11	
	平均	1.27	2.53	0.13	1.32	1.50	1.86	1.58	37.6	1.69	
	STDEV	0.152	0.304	0.030	0.171	0.042	0.443	0.017	1.16	0.549	

### 3 CF補強接合部の縦引張型二面せん断強さ

2003年度には、従来のCF強化集成材の最外層表面にさらに直交方向に配向するCF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、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<sup>1,2,4,6,7)</sup>。

2004年度には、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、ラグスクリー間隔等を狭くした試験体を作製し、その影響を検討した。この際には、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採用した。その結果、CF補強の有効性とコンパクトな接合部開発の可能性が示された<sup>8,10-13)</sup>。

ただし、これまでの試験は主として圧縮型で実施されており、引張型のデータが欠けていた。

そこで、本試験では接合部のみをCF補強した試験体を作製し、縦引張型のせん断強さ試験を試みた<sup>14,16,18,19)</sup>。なお、今回は早期の実用化の可能性を考慮に入れ、鋼板挿入型の二面せん断試験とした。また、接合部のみを補強するCFシート積層板は、CF配向を交互に直交させる合板形式のものにした。ここで、CF配向は「2 CFシート積層板等の面圧強さ」の結果を踏まえ、偶数枚目を長軸方向とした。

#### 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、試験体の概要を図3-1に示す。

基材となる集成材は、L60のスギラミナから作製した同一等級構成集成材とした。

接合部補強用のCFシート積層板は、CF配向を交互に直交させたもの（偶数枚目が長軸方向）とした。CFシートの積層枚数は、0, 7, 13枚の3種類とした。

これらのCFシート積層板は、集成材とは別に作製した[写真3-1]。CFシート同士の接着には、集成材用のレゾルシノール樹脂を1接着層当たり200 g/m<sup>2</sup>ずつ片面塗布した。ホットプレスによる圧縮圧は約0.8 MPa、圧縮時間は24時間とした。

なお、7枚積層のCFシート積層板を作製する際にはホットプレス[写真3-1]の熱盤を加熱せず、ジェットヒータを用いて室温の確保を図った。しかし、解圧時点でもはみ出した樹脂はやや柔らかかった。そこで、13枚積層板を作製する24時間余りの間は20℃の恒温室内で保管し、その後再度30℃に設定したホットプレスで24時間圧縮した。13枚積層板は、最初から30℃に設定したホットプレスで圧縮した。

これらのCFシート積層板は、木工用のチップソーを用いて所定の寸法に鋸断した。そして、集成材用のレゾルシノール樹脂を用いてスギ集成材に接着した後、試験体に組み上げた。CFシート積層板と集成材を接着する際には、集成材用のレゾルシノール樹脂の使用量を250 g/m<sup>2</sup>とした。

本試験体を作製する際の穿孔も、2.1.1の場合と同様、木材加工用のドリルを用いた。

ドリフトピンは、直径16 mm、長さ150 mmに統一した。今回使用したドリフトピンには、全長にわたってネジ加工が施されていた。

##### 3.1.2 試験方法

縦引張型二面せん断強さ試験の方法を、写真3-2に示す。

試験機には、(株)ミネベア製の実大材試験機TCM-30000（最大荷重300 kN）を使用した。荷重速度は、端距離3.5dの試験体で3 mm/min、同7dの試験体で5 mm/minとした。なお、試験体No.021のみは2 mm/minで実施した。

荷重は、試験体上部に取付けた(株)東京測器研究所製引張・圧縮型荷重計TCLP-200KNB[写真3-2右上]で測定した。ドリフトピンを通した鋼板と集成材との変位は、同所製高感度変位計CDP-50で測定した。ここで、変位計2個は写真3-2のようにセットした。そして、鋼板添板の下方50 mmの位置において、鋼板-集成材間の相対変位を測定した。

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、第1,2報<sup>7,13)</sup>と同様、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 [第1報<sup>7)</sup>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。

また, 試験終了後の試験体はドリフトピン接合部の材端から端距離の約2倍の位置(鋼板挿入用の切り欠きの底部)で鋸断し, 接合部周辺の破壊状態を目視で調査した [図3-2]。

## 3.2 結果と考察

### 3.2.1 試験体の破壊過程と荷重-変位曲線

「総荷重」と「変位計2個の測定値」の経時変化を, 一例として図3-3に示す。最初はボルト等の遊びの関係からか, 相対変位の量がやや小さかった。しかし, その後はほぼ荷重速度と等しい値を示した。変位計2個の値もほぼ同様に変化していたので, 各試験体における経時変化の図示は省略した。

すべての試験体の荷重-変位曲線を, 図3-5に示す。この図では, 横軸を変位計2個の平均値, 縦軸を1面当りの平均荷重(総荷重の1/2)とした。また, 左のグラフに端距離3.5dの試験結果を, 右のグラフに端距離7dの試験結果をまとめて示した。

なお, 本試験では荷重, 変位(1), 変位(2)の順に, デジタルひずみ測定器TC-31K内にデータを記録させた。この記録にはある程度の時間を要するため, 実際の記録回数は約54回/分であった [図3-3]。各データの取り込みに若干の時間差が生じるため, 個々の荷重-変位曲線を詳細に見ていくと, 図3-4のn回目の測定点のような現象が一部に認められた。このようなデータは, 結果の過大評価につながる。そこで, すべての荷重-変位曲線をチェックし, 図3-4のn回目の測定値に相当する点があった場合はそのデータを削除し, (n-

1)回目と(n+1)回目の点を直線で結ぶことにした。図3-5は, このような補正をした後のものである。

次に, 全試験条件の代表的な破壊形状を, 写真3-3~8に示す。

これらの写真では, 左上に試験中の破壊形状を示した。

右側の写真2枚は, 図3-2のaで切り出したドリフトピン接合部である。右上は試験時の試験体外面を上, 右下は同内側を上にして撮影している。いずれも, 写真の下側が試験時の下端(ドリフトピン接合部の材端), 上側が鋸断面である。

左下の写真は, 図3-2のbで鋸断した断面である。この写真も, 写真の下側が試験時の下端となる。

最後に, 写真3-9, 10として, 試験終了後のドリフトピンの変形を示す。

表3-1の記号別にそれぞれの特徴を見ると, まずCF0-3.5dでは比較的早い段階で木部の割裂またはせん断抜けが生じた [図3-5左, 写真3-3]。

これに対し, CF7-3.5dはCF0-3.5dの2倍以上の最大荷重を示した [図3-5左]。また, 粘りのある破壊過程を示した。最終的には, CFシート積層板下の木破や木部のせん断抜けで荷重値を下げた [写真3-4]。

CF13-3.5dは初期に大きな最大荷重を示したが, CF0-3.5dよりも早くCFシート積層板下の木破で荷重値を下げた [図3-5左, 写真3-5]。

CF0-7dは, 端距離が伸びたことから, CF0-3.5dよりもやや大きな最大荷重をとるとともに, かなりの粘りを示した [図3-5右]。最終的な破壊形状は, 木部の割裂またはせん断抜けであった [写真3-6]。

CF7-7dは, CF0-7dの2倍程度の最大荷重を示した [図3-5右]。また, 今回の試験では最も大きな粘りを示した。最後まで木部には大きな破壊が認められず, 最終的な破壊はすべてドリフトピンの破断であった [写真3-7]。

CF13-7dは, 今回の試験で最も大きな最大荷重を示した [図3-5右]。また, ある程度の粘りも示した。ただし, 7dシリーズの3試験条件の中では, 最も早い段階で荷重値を下げた。最終的な破壊形状は, 主としてCFシート積層板下の木破であっ

た [写真 3-8]。

なお、本試験では集成材部分の含水率は測定しなかった。ただし、人工乾燥後十分に養生（屋内保管）されたラミナを使用しているため、表 2-2 に記したベイマツ材の場合と同様、12~13%程度になっていたものと推定される。

### 3.2.2 完全弾塑性近似の結果

完全弾塑性近似による評価は、図 3-4 の補正後のデータを用いて実施した。

完全断塑性近似の結果を、表 3-2、付表 3-1 及び図 3-6 に示す。

本試験では 0.8 Pmax の値を複数回取る試験体があったので、最初の 0.8 Pmax までと最後の 0.8 Pmax までの 2 種類の評価を実施した。

試験剛性は CF13 > CF7 > CF0 となり、端距離の影響はほとんど認められなかった。

図 3-6 において、CF0-7d を基準にして比較すると、CF7-7d が試験剛性・試験許容応力・終局耐力・塑性率の値が優れており、かつ全体のバランスが最も取れていた。次は、CF7-3.5d であると思われる。CF13-7d は試験剛性・試験許容応力・終局耐力において最大値を取ったが、塑性率がやや小さかった。

CF7-7d や CF7-3.5d の塑性率が大きかったことは、それらの試験体の CF シート積層板が大きく面圧破壊されていることから分かる [写真 3-7, 写真 3-4]。

今回の試験条件では、CF シートの積層枚数として、7 枚前後が最適であったと思われる。13 枚積層では、スギ材の強度性能と比較して、CF シート積層板の強度性能が大き過ぎたようである。

なお、今回の試験結果から、接合部のみを CF 補強した場合でも、接合性能を大幅に高められることが明らかとなった。接合部のコンパクト化の可能性も示された。CF シートの積層枚数や端距離によってそれぞれの性能が異なるので、要求される接合性能に合わせて、補強方法を選択すればよいと思われる。

表 3-1 縦引張型二面せん断試験体の仕様と試験体記号、試験体 No.

CF シート積層数	端 距 離 (d : 16 mm)	試験体記号	試験体 No.
0 枚	3.5 d	CF0-3.5d	011, 012, 013
7 枚		CF7-3.5d	111, 112, 113
13 枚		CF13-3.5d	211, 212, 213
0 枚	7 d	CF0-7d	021, 022, 023
7 枚		CF7-7d	121, 122, 123
13 枚		CF13-7d	221, 222, 223

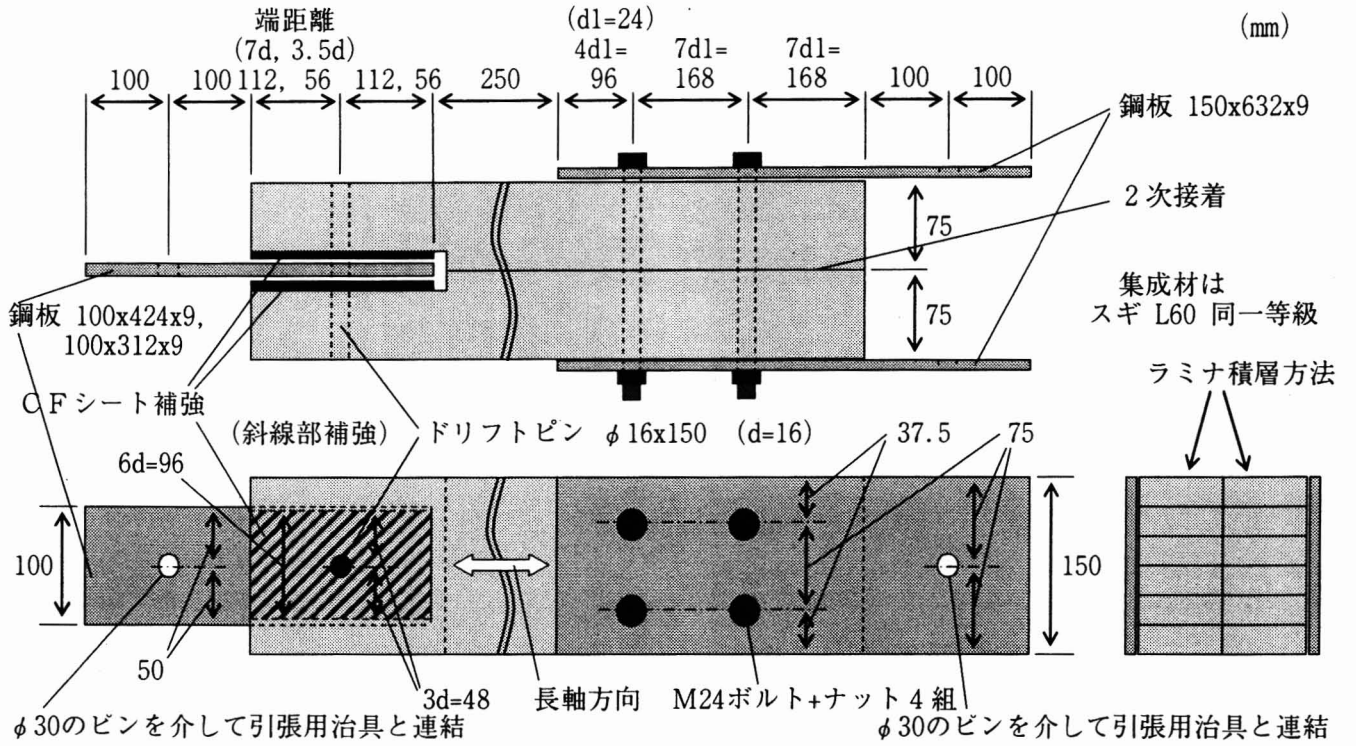


図 3-1 縦引張型二面せん断試験体の仕様 (図中の「2次接着」: CFシート補強後の接着)

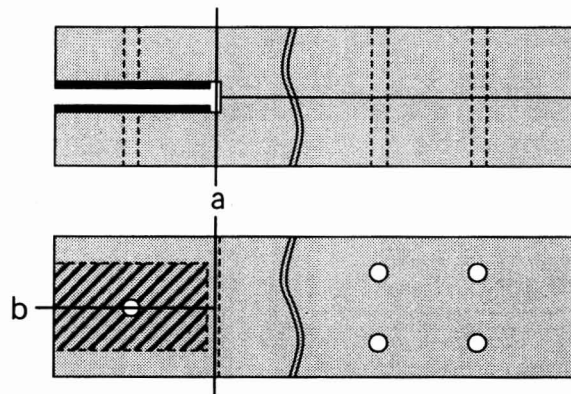


図 3-2 試験後の観察面鋸断位置 (a, b)

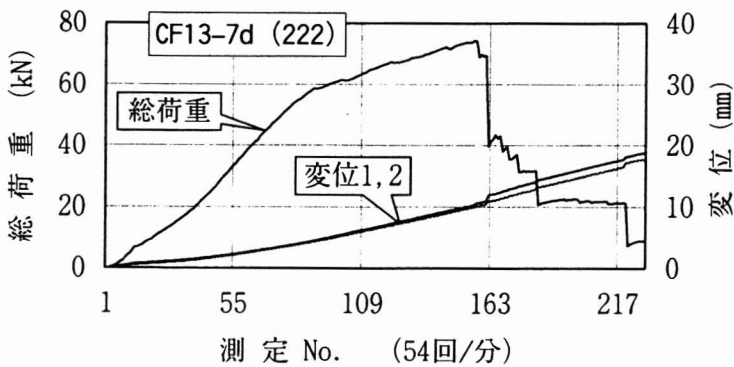


図 3-3 総荷重と2変位の経時変化例

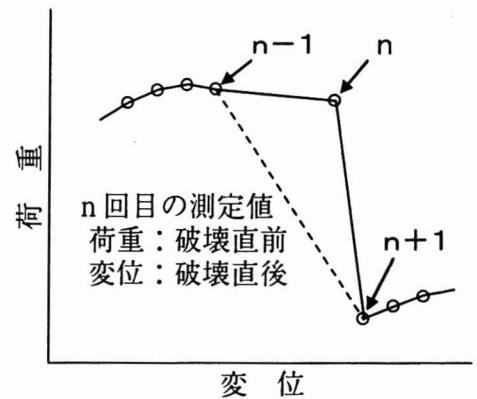


図 3-4 測定値の補正方法

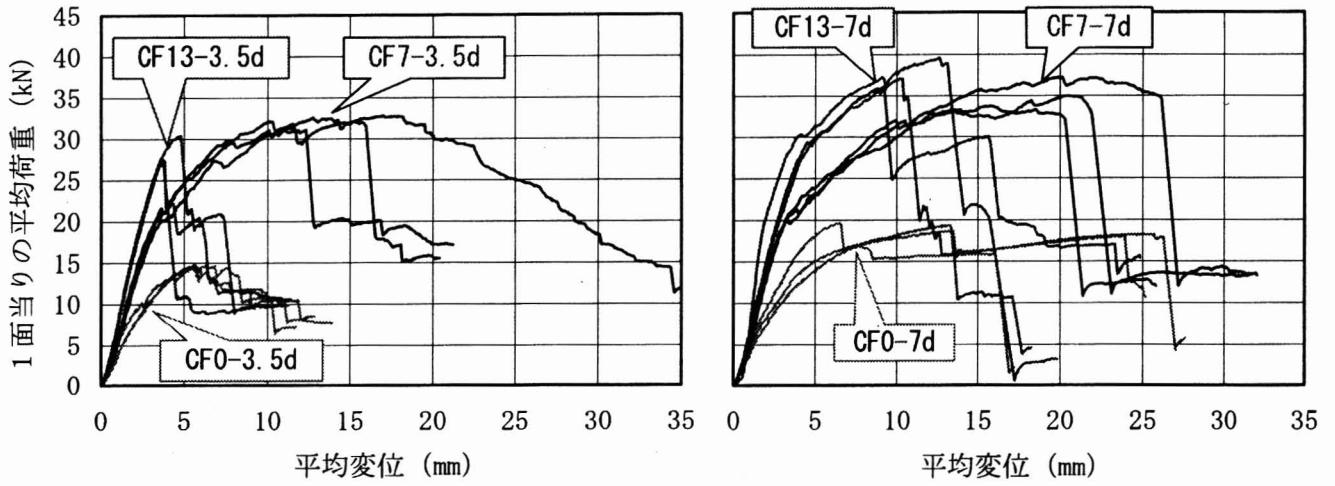


図 3-5 縦引張型二面せん断試験体すべての荷重—変位曲線

表 3-2 完全弾塑性近似による縦引張型二面せん断試験の評価結果 (平均値)

試験体 記号	----- 共通 -----		最初の0.8Pmaxまで		最後の0.8Pmaxまで	
	試験剛性 (kN/mm)	試験許容応力 (kN)	終局耐力 (kN)	塑性率	終局耐力 (kN)	塑性率
CF0-3.5d	4.11	7.79	13.1	2.47	13.0	2.73
CF7-3.5d	6.16	18.8	29.3	3.63	29.3	3.63
CF13-3.5d	8.31	16.7	25.3	1.41	25.1	1.48
CF0-7d	3.84	10.6	17.3	4.13	16.9	4.88
CF7-7d	6.31	19.8	31.6	4.59	31.6	4.59
CF13-7d	7.86	23.7	33.7	2.67	32.9	3.20

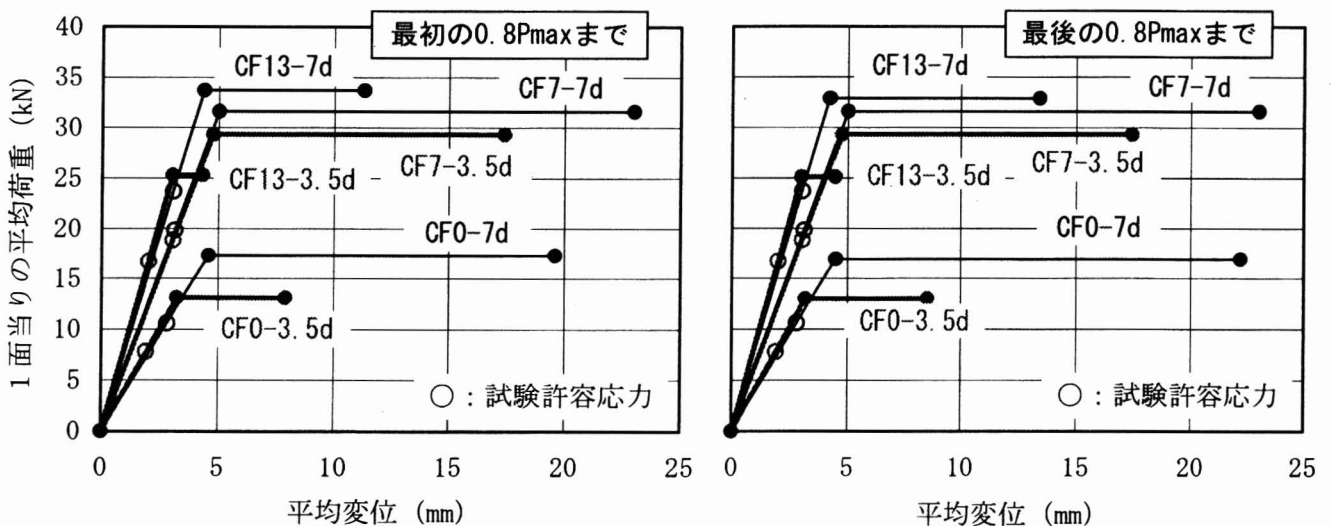


図 3-6 完全弾塑性近似による縦引張型二面せん断試験の結果 (平均値による表示)



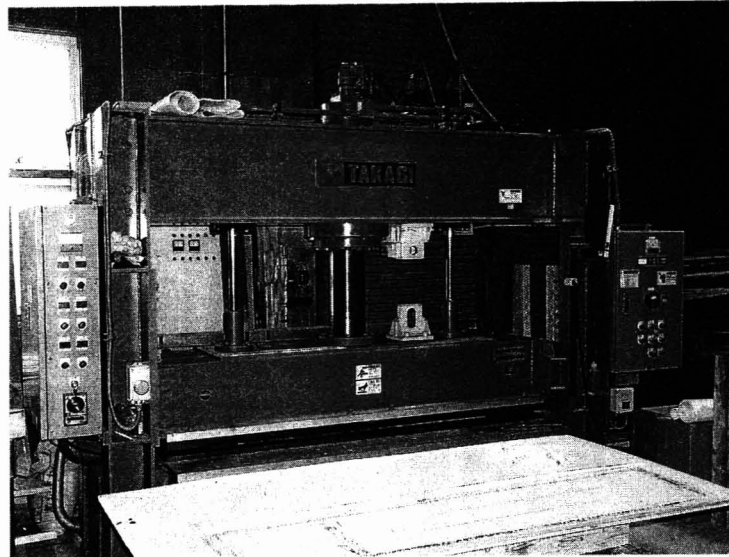


写真 3-1 CFシート積層板の作製（本報「2」「4」のCFシート積層板も本ホットプレスで作製）  
手前の台の離型紙上でレゾルシノール樹脂を塗布した。

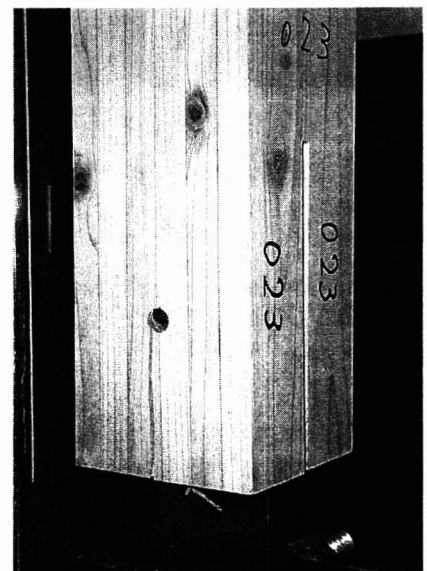
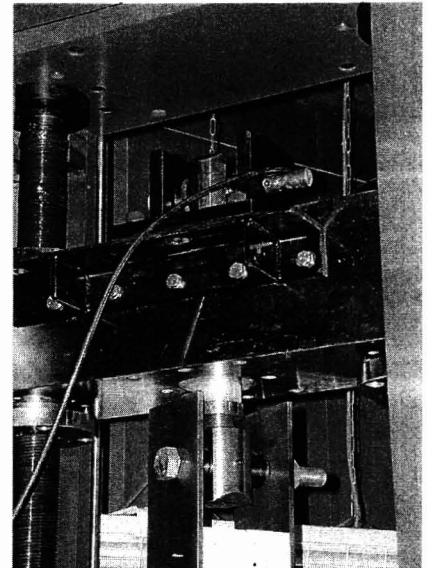
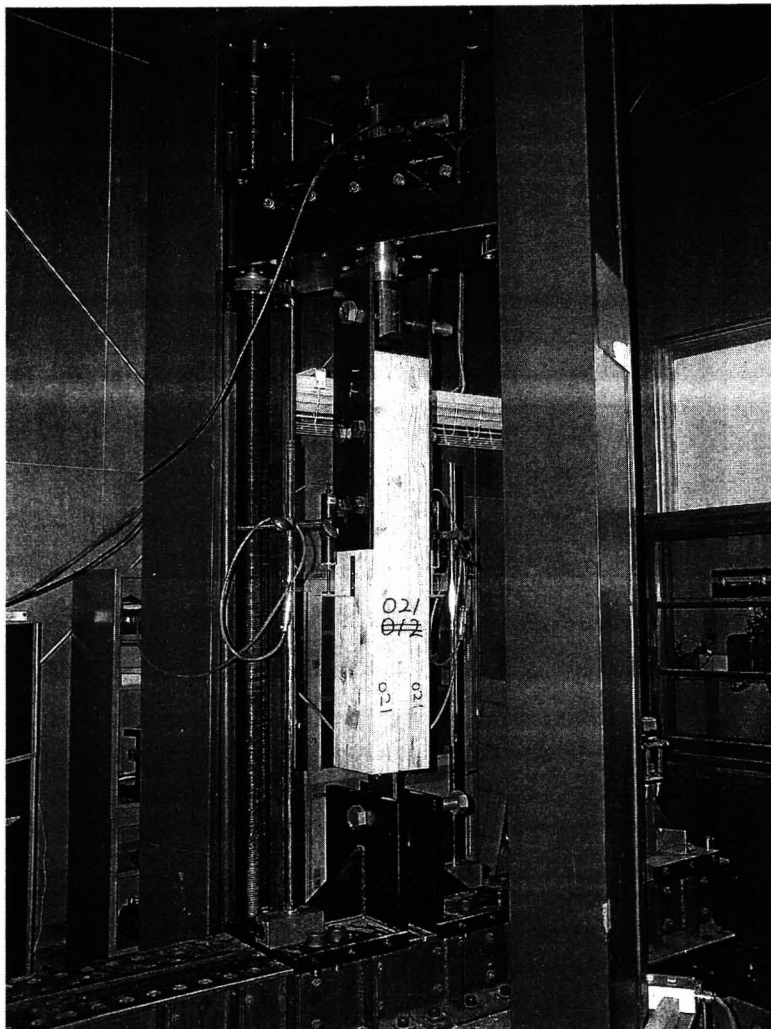


写真 3-2 縦引張型二面せん断試験の方法  
右上：200 kN 荷重計を介して，試験機アームに固定  
右下：本試験の対象となる鋼板挿入型接合部

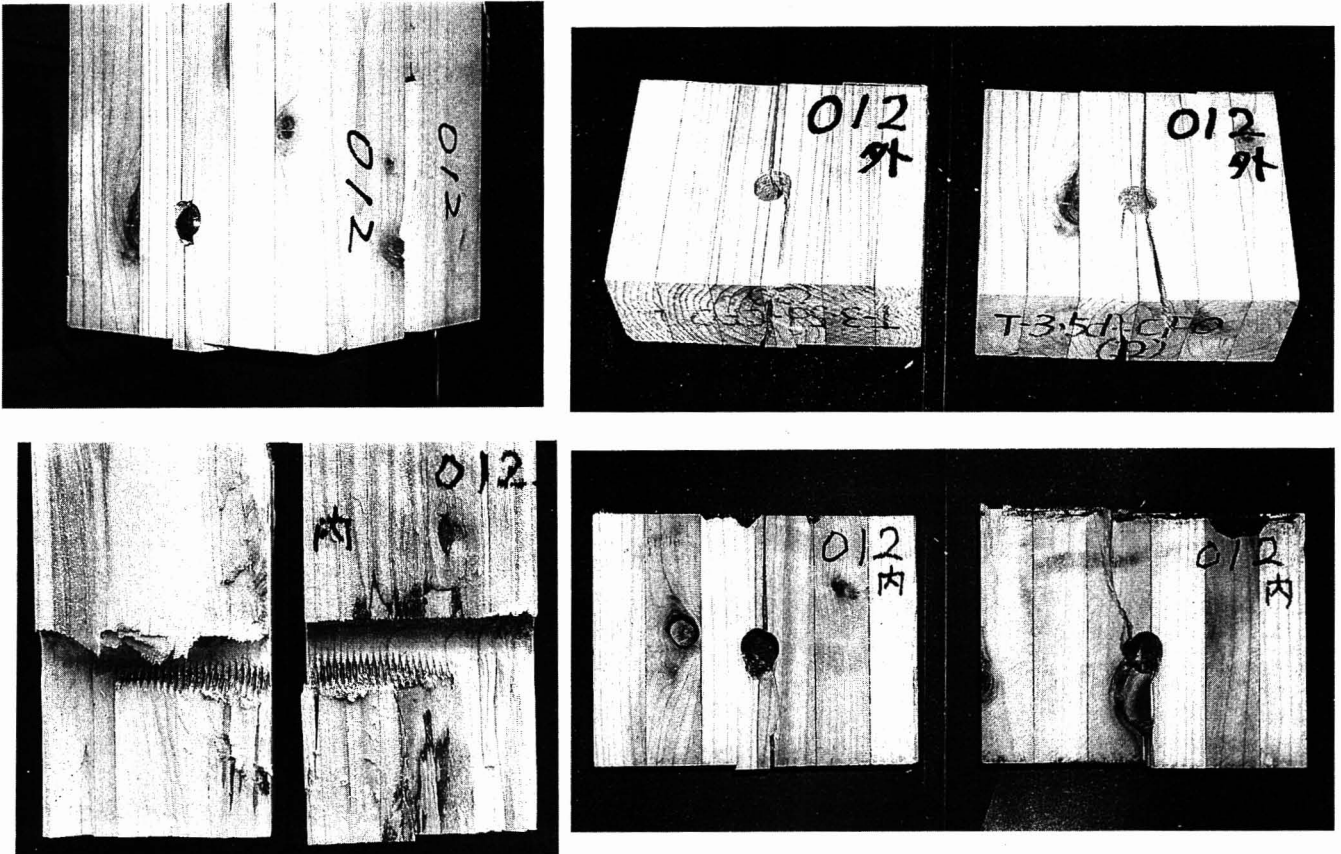


写真 3-3 CF0-3.5d の最終破壊形状 (試験体 No.012)

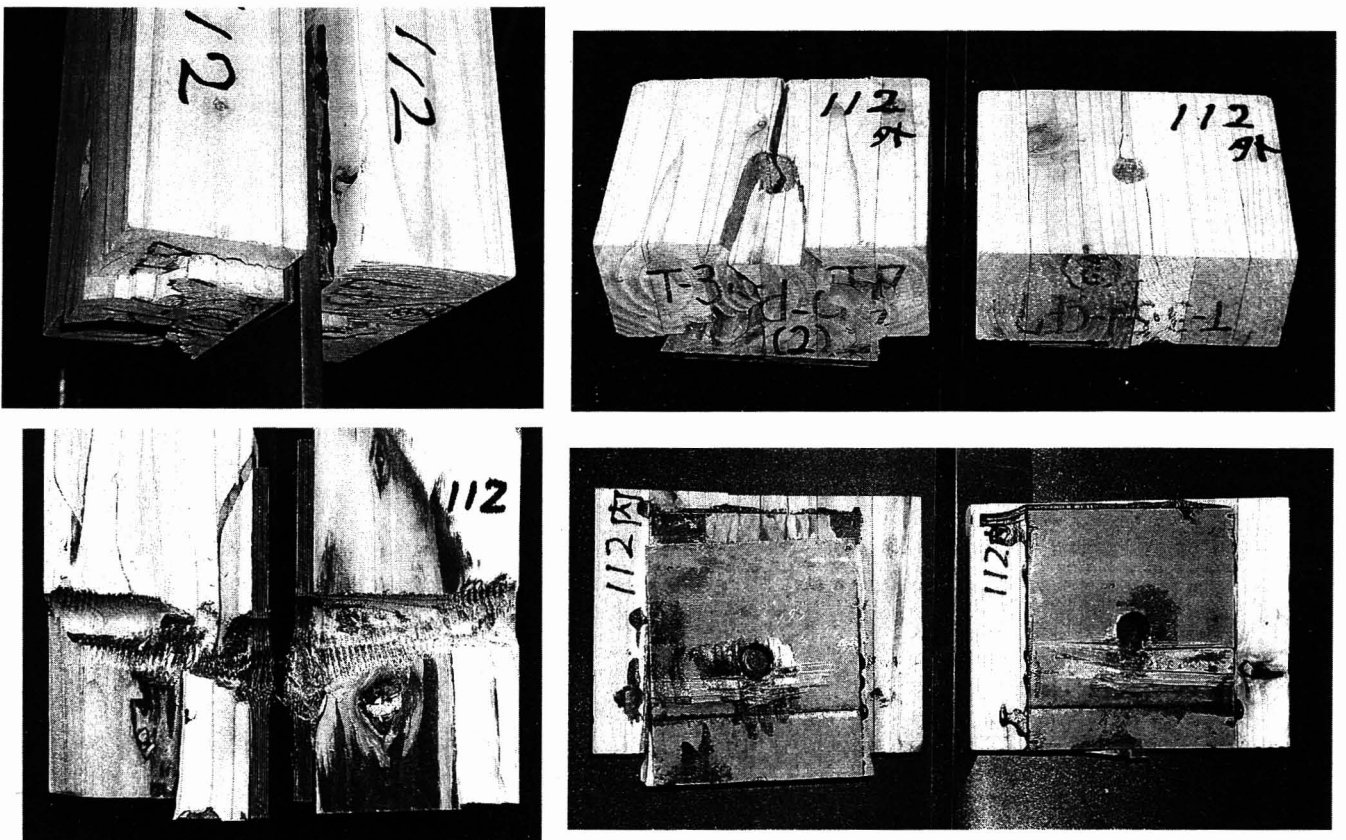


写真 3-4 CF7-3.5d の最終破壊形状 (試験体 No.112)

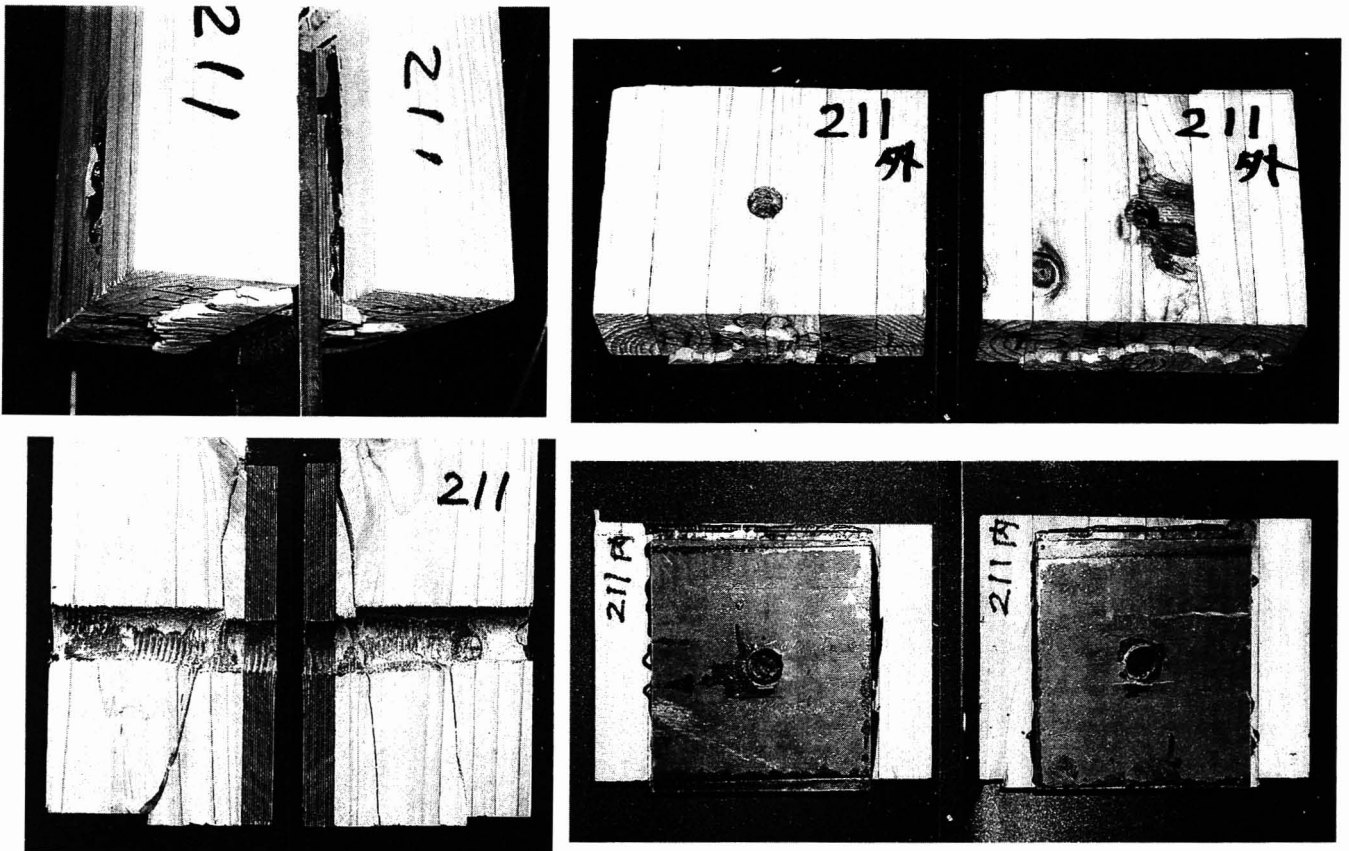


写真 3-5 CF13-3.5d の最終破壊形状 (試験体 No. 211)

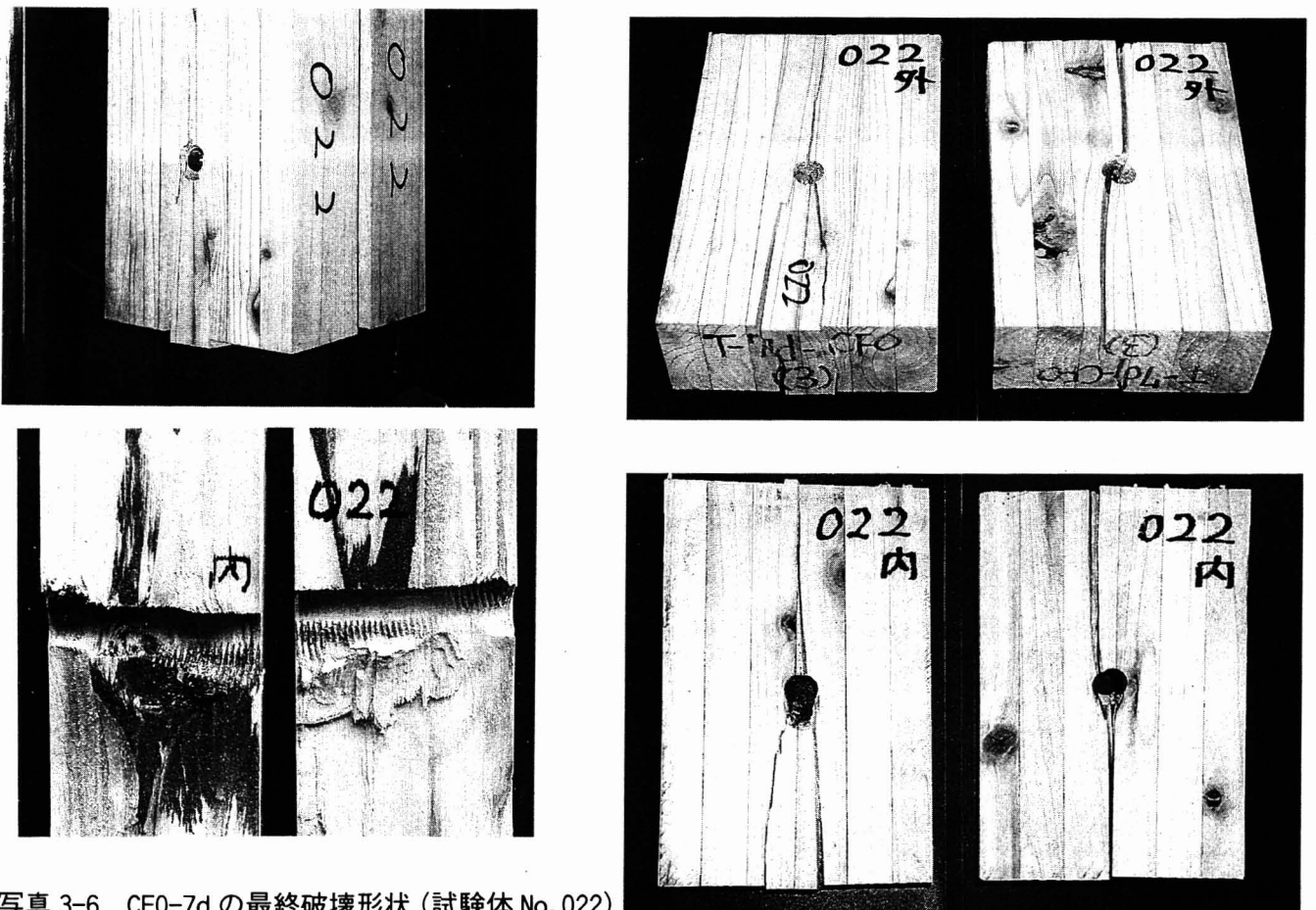


写真 3-6 CF0-7d の最終破壊形状 (試験体 No. 022)

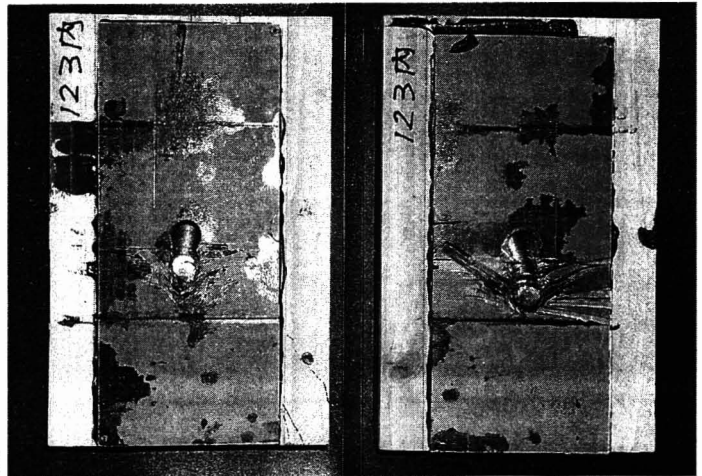
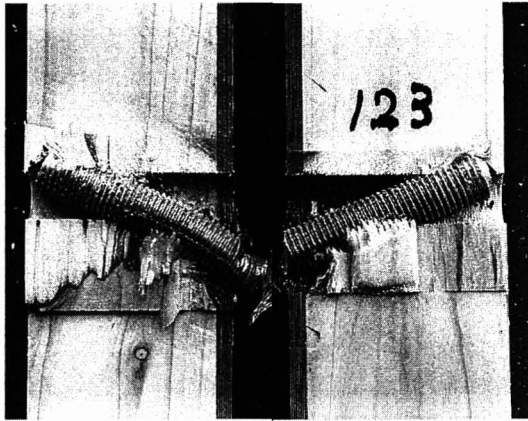
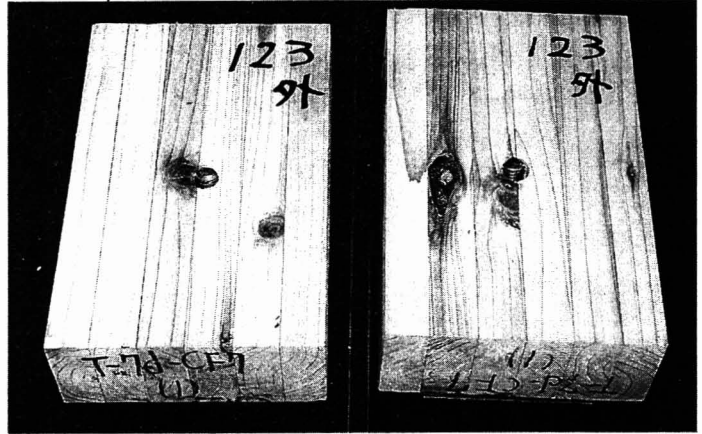
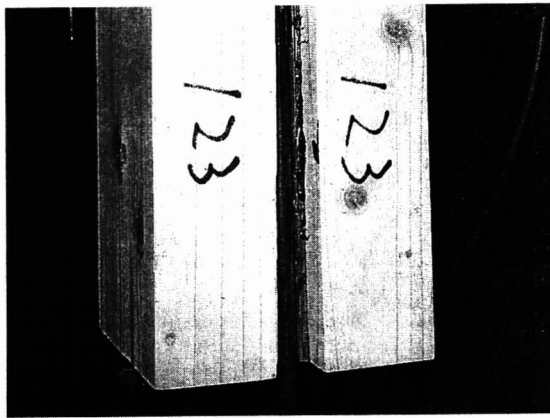


写真 3-7 CF7-7d の最終破壊形状 (試験体 No. 123)

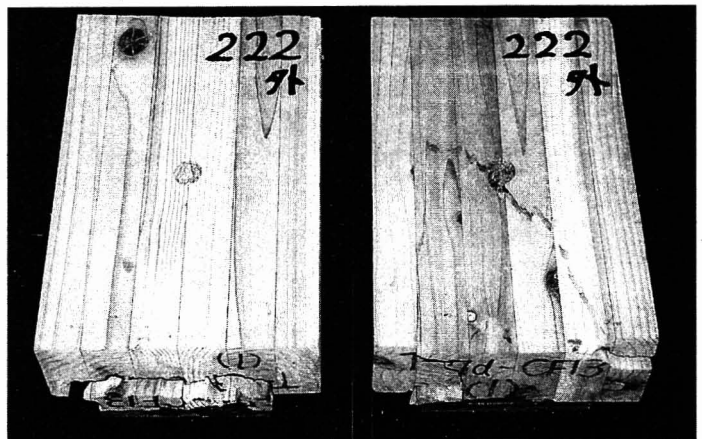
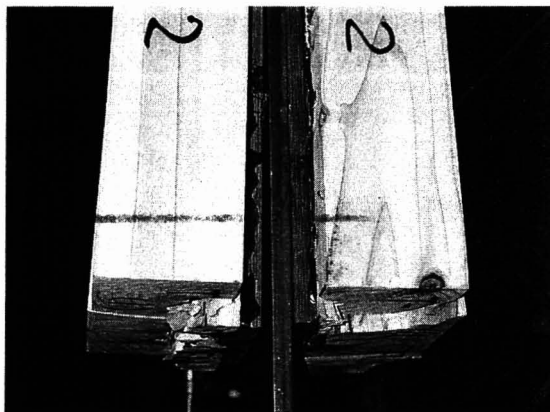


写真 3-8 CF13-7d の最終破壊形状 (試験体 No. 222)

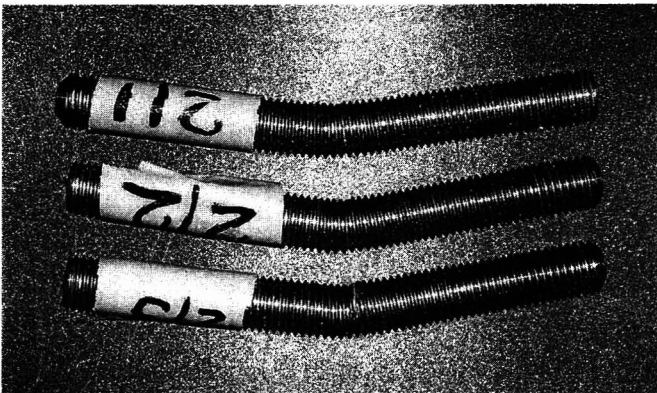
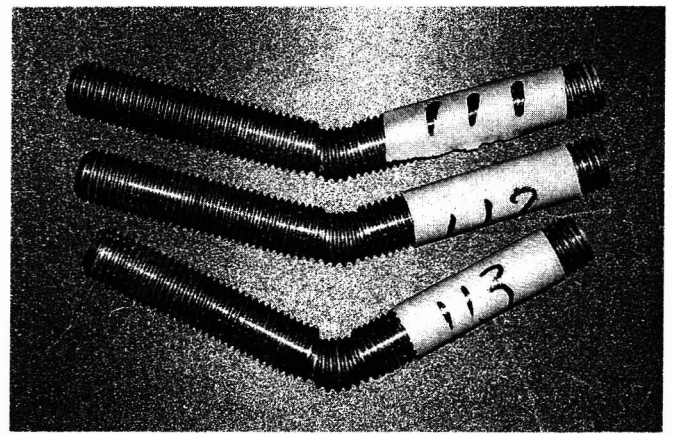
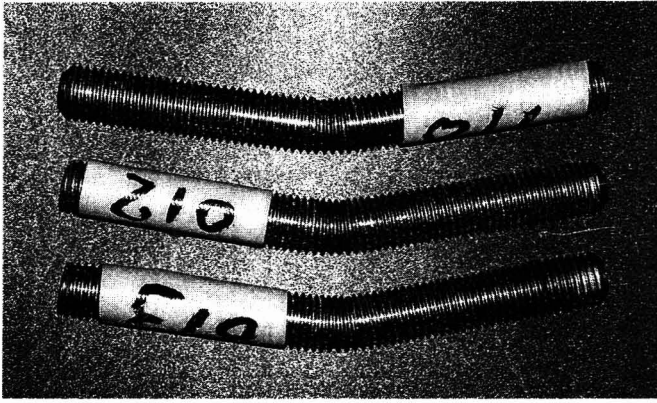


写真 3-9 試験終了後のドリフトピン形状 (1)

左上：CF0-3.5d (上から 011, 012, 013)

右上：CF7-3.5d (上から 111, 112, 113)

左下：CF13-3.5d (上から 211, 212, 213)

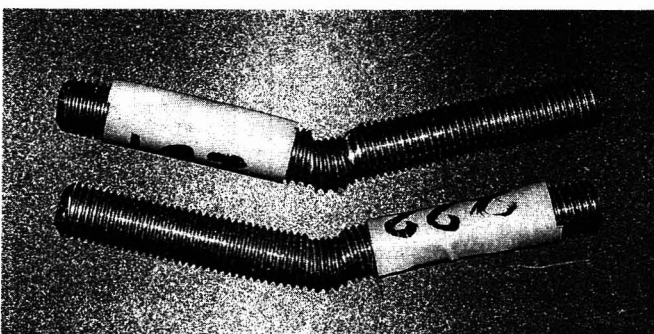
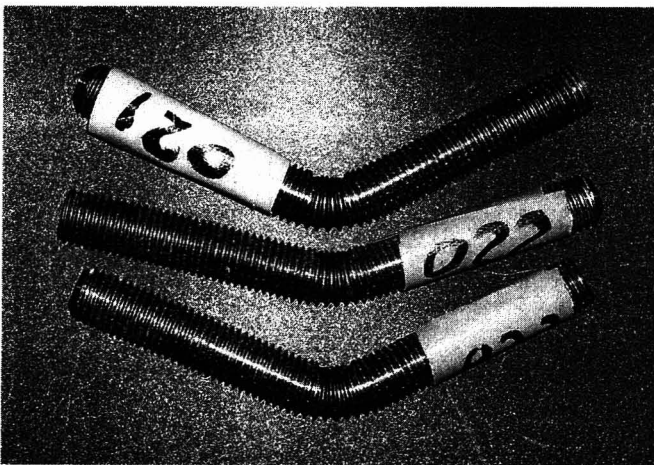


写真 3-10 試験終了後のドリフトピン形状 (2)

左上：CF0-7d (上から 021, 022, 023)

左下：CF13-7d (上から 221, 222)

CF7-7d の 3 体と 223 は試験体内で破断

付表 3-1 完全弾塑性近似による縦引張型二面せん断試験の評価結果

試験体 記号	試験体 No.	(参考)Pmaxの座標		初期剛性			試験許容応力			降伏点荷重			降伏点荷重 (斜体: 左記と異なる値)				
		Xpmax (mm)	Ypmax (kN)	直線V傾き (kN/mm)	直線IV, Vの交点 XY (mm)	YY (kN)	直線V, VIの交点 XV (mm)	YV (kN)	0.8Pmaxの X0.8 (mm)	塑性率 $\mu$	面積 S (kN $\cdot$ mm)	直線V, VIの交点 XV (mm)	YV (kN)	0.8Pmaxの X0.8 (mm)	塑性率 $\mu$	面積 S (kN $\cdot$ mm)	
CF0-3.5d	011	6.32	14.75	3.81	2.054	7.83	3.555	13.55	8.36	2.35	89.2	3.555	13.55	8.36	2.35	89.2	
	012	5.59	14.75	4.70	1.743	8.19	2.771	13.01	7.75	2.80	82.9	<i>2.697</i>	<i>12.67</i>	<i>9.61</i>	<i>3.57</i>	<i>104.7</i>	
	013	5.66	14.65	3.82	1.922	7.34	3.349	12.79	7.59	2.26	75.6	3.349	12.79	7.59	2.26	75.6	
	平均	5.86	14.7	4.11	1.91	7.79	3.23	13.1	7.90	2.47	82.6	<i>3.20</i>	<i>13.0</i>	<i>8.52</i>	<i>2.73</i>	<i>89.8</i>	
CF7-3.5d	111	12.75	32.55	6.47	2.801	18.12	4.622	29.90	16.17	3.50	414.5	4.622	29.90	16.17	3.50	414.5	
	112	11.46	31.80	6.13	3.234	19.82	4.641	28.44	12.53	2.70	290.5	4.641	28.44	12.53	2.70	290.5	
	113	16.95	32.80	5.89	3.139	18.49	5.007	29.50	23.53	4.70	620.3	5.007	29.50	23.53	4.70	620.3	
	平均	13.72	32.4	6.16	3.06	18.8	4.76	29.3	17.4	3.63	442	4.76	29.3	17.4	3.63	442	
CF13-3.5d	211	3.73	27.50	8.09	2.039	16.49	3.003	24.29	3.99	1.33	60.5	3.003	24.29	3.99	1.33	60.5	
	212	3.82	27.30	8.31	1.922	15.97	2.918	24.24	3.88	1.33	58.8	<i>2.832</i>	<i>23.53</i>	<i>4.38</i>	<i>1.55</i>	<i>69.8</i>	
	213	4.73	30.40	8.54	2.061	17.61	3.204	27.37	5.02	1.57	93.6	3.204	27.37	5.02	1.57	93.6	
	平均	4.09	28.4	8.31	2.01	16.7	3.04	25.3	4.30	1.41	71.0	<i>3.01</i>	<i>25.1</i>	<i>4.46</i>	<i>1.48</i>	<i>74.6</i>	
CF0-7d	021	13.23	19.30	3.31	3.217	10.66	5.234	17.34	26.39	5.04	412.2	5.234	17.34	26.39	5.04	412.2	
	022	6.34	19.60	4.50	2.280	10.25	3.893	17.51	8.43	2.16	113.4	<i>3.631</i>	<i>16.33</i>	<i>16.05</i>	<i>4.42</i>	<i>232.4</i>	
	023	13.40	18.70	3.70	2.966	10.97	4.629	17.12	24.05	5.19	372.1	4.629	17.12	24.05	5.19	372.1	
	平均	10.99	19.2	3.84	2.82	10.6	4.59	17.3	19.6	4.13	299	<i>4.50</i>	<i>16.9</i>	<i>22.2</i>	<i>4.88</i>	<i>339</i>	
CF7-7d	121	20.47	34.95	6.39	3.053	19.49	4.820	30.78	22.19	4.60	608.8	4.820	30.78	22.19	4.60	608.8	
	122	15.74	33.75	6.26	3.189	19.97	4.925	30.85	20.55	4.17	558.1	4.925	30.85	20.55	4.17	558.1	
	123	19.87	37.25	6.27	3.165	19.86	5.277	33.11	26.35	4.99	784.9	5.277	33.11	26.35	4.99	784.9	
	平均	18.69	35.3	6.31	3.14	19.8	5.01	31.6	23.0	4.59	651	5.01	31.6	23.0	4.59	651	
CF13-7d	221	8.74	35.90	6.90	3.347	23.08	4.744	32.72	9.51	2.00	233.6	<i>4.377</i>	<i>30.19</i>	<i>15.77</i>	<i>3.60</i>	<i>410.0</i>	
	222	10.16	37.10	7.24	3.329	24.09	4.596	33.26	10.93	2.38	287.1	4.596	33.26	10.93	2.38	287.1	
	223	12.63	39.55	9.44	2.520	23.79	3.727	35.19	13.50	3.62	409.5	3.727	35.19	13.50	3.62	409.5	
	平均	10.51	37.5	7.86	3.07	23.7	4.36	33.7	11.3	2.67	310	<i>4.23</i>	<i>32.9</i>	<i>13.4</i>	<i>3.20</i>	<i>369</i>	

## 4 CF 補強接合部の横引張型二面せん断強さ

「3」のはじめに記した通り、これまでのCF補強集成材接合部の試験は、主として圧縮型で実施されていた。

そこで、2005年度には引張型の試験を行い、新たな知見を求めた。

「3」では長軸方向の引張強さを検討したので、ここでは横引張強さを試験した<sup>14,17-19)</sup>。

なお、本試験のCFシート積層板も、「3」と同様、CF配向を交互に直交させる合板形式のものにした。また、CF配向も「3」と同様、偶数枚目を長軸方向とした。

試験方法は、川元らの論文<sup>24)</sup>を参考にした。

### 4.1 試験の方法

#### 4.1.1 試験体の作製

本試験に用いた試験体の種類を、表4-1に示す。また、試験体の概要を図4-1に示す。

基材となる集成材は、L60のスギラミナから作製した同一等級構成集成材とした。

接合部補強用のCFシート積層板は、CF配向を交互に直交させたもの（偶数枚目が長軸方向）とした。CFシートの積層枚数は、0、7、13枚の3種類とした。

集成材とCFシート積層板の仕様は、上記のように「3」と統一を図った。

CFシート積層板の作製は、「3」と同時に実施した。従って、作製方法は3.1.1の通りである。

また、試験体の組立も3.1.1と同様にした。

ドリフトピンも「3」と統一し、直径16mm、長さ150mm、全長ネジ加工のものとした。

#### 4.1.2 試験方法

横引張試験の方法を、図4-1と写真4-1に示す。

試験機には、(株)ミネベア製の実大材試験機TCM-30000（最大荷重300kN）を使用した。荷重速度は、1mm/minに統一した。ただし、試験体No.021のみは0.5mm/minで実施した。

ドリフトピン接合部と載荷部における変位は、(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個は図4-1の①～④のようにセットした。ドリフトピン接合部については、集成材の下端から40mmの位置における鋼板-集

成材間の相対変位を求めたことになる。

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、3.1.2と同様に行った。測定値の補正も、図3-4と同様に行った。

試験終了後の試験体はドリフトピン接合部の材端から端距離の約2倍の位置（鋼板挿入用の切り欠きの底部）で鋸断し、接合部周辺の破壊状態を目視で調査した〔図4-2〕。

## 4.2 結果と考察

### 4.2.1 試験体の破壊過程と荷重-変位曲線

「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4-3に示す。試験体の破壊は、左右で別々に進行する例がかなり見られた。

CFシート13枚積層板で補強したCF13-3.5d、3dやCF13-7d、4d〔図4-3下〕等では、「(ドリフトピン下)変位①②」が「(載荷部)変位③④」に近い値を示した。これは、これらの試験体において、かなりの曲げ変形が生じていたことを示す。

また、CF13-7d、4d〔図4-3下〕等では、変位③④の経時変化が荷重速度よりも遅かった。これは、主として載荷部鋼板のめり込みによるものと判断される〔写真4-2〕。

すべての試験体の荷重-変位曲線を、図4-4に示す。この図では、横軸をドリフトピン下の変位計2個の平均値、縦軸を1面当りの平均荷重（総荷重の1/2）とした。また、左のグラフに端距離3.5dの試験結果を、右のグラフに端距離7dの試験結果をまとめて示した。

次に、全試験条件の代表的な破壊形状を、写真4-3～8に示す。

これらの写真では、左上に試験中の破壊過程または破壊形状を示した。

右側の写真2枚は、図4-2のaで切り出したドリフトピン接合部である。右上は試験時の試験体外面を上、右下は同内側（鋼板挿入面）を上にして撮影している。いずれも、写真の下側が試験時のドリフトピン接合部側の材端、上側が鋸断面である。試験体に記入した矢印は、試験時の上面の方向を示す。

左下の写真は、図4-2のbで鋸断した断面であ

り、写真の下側が試験時の下端である。

最後に、試験終了後のドリフトピンの変形を、写真4-9,10に示す。

表4-1の記号別にそれぞれの特徴を見ると、CF0-3.5d,3dでは比較的早い段階で、主としてドリフトピン部から木部の割裂が生じた[図4-4左、写真4-3]。

これに対し、CF7-3.5d,3dはCF0-3.5d,3dの3倍程度の最大荷重を示した[図4-4左]。また、CF0-3.5d,3d以上の粘りを示した。破壊は、主として接合部の木破であった[写真4-4]。木破の位置は、ドリフトピン部以外の場合が多かった。CFシート積層板の破壊は、比較的軽微であった。

CF13-3.5d,3dは初期に大きな最大荷重を示したが、CF0-3.5d,3dの最大荷重変位をやや越えた辺りで木破を生じた[図4-4左、写真4-5]。CFシート積層板の破壊は、ごくわずかであった。

CF0-7d,4dは、端距離が伸びたことから、CF0-3.5d,3dよりもやや大きな最大荷重をとるとともに、かなりの粘りを示した[図4-4右]。破壊は、ドリフトピン部からの木部の割裂であった[写真4-6]。

CF7-7d,4dは、CF0-7d,4dの2.5倍強の最大荷重を示した[図4-4右]。また、粘りはCF0-7d,4dと同程度であった。破壊は木破で、その位置はドリフトピン部以外の場合もあった[写真4-7]。CFシート積層板には、ある程度の面圧破壊が認められた。

CF13-7d,4dは、CF7-7d,4dと同程度の最大荷重を示した[図4-4右]。また、ある程度の粘りも示した。ただし、7dシリーズの3試験条件の中では、最も早い段階で荷重値を下げた。破壊は木破で、その位置はドリフトピン部以外の場合が多かった

[写真4-8]。CFシート積層板の破壊は、軽微であった。

なお、本試験では集成材部分の含水率は測定しなかった。ただし、人工乾燥後十分に養生(屋内保管)されたラミナを使用しているため、表2-2に記したベイマツ材の場合と同様、12~13%程度になっていたものと推定される。

#### 4.2.2 完全弾塑性近似の結果

完全断塑性近似の結果を、表4-2、付表4-1及び図4-5に示す。

本試験では0.8Pmaxの値を複数回取る試験体があったので、最初の0.8Pmaxまでと最後の0.8Pmaxまでの2種類の評価を実施した。

端距離・縁距離別の試験剛性は、CF13>CF7>CF0となった。

端距離・縁距離と試験剛性との関係では、端距離・縁距離の大きい試験体の方が、試験剛性はやや小さかった。この点については、端距離・縁距離の大きい試験体の方が0.9Pmax時の塑性変形が大きかったことも、一つの要因になっていると思われる。

同一のCFシート積層数で比較すると、試験許容応力と終局耐力は端距離・縁距離の大きい試験体の方が大となった。

表4-2と図4-5において、CF0-7d,4dを基準にして比較すると、CF7-7d,4dが試験剛性・試験許容応力・終局耐力・塑性率の値が優れており、かつ全体のバランスが最も取れていた。次は、CF13-7d,4dとCF7-3.5d,3dであるが、これらは塑性率がやや小さかった。

今回の試験条件では、3.2.2の結果と同様、CFシートの積層枚数は7枚前後が適当であったと思われる。

表4-1 横引張型二面せん断試験体の仕様と試験体記号, 試験体No.

CFシート積層数	端距離 縁距離		試験体記号	試験体No.
	(d:16 mm)			
0枚			CF0-3.5d,3d	011, 012, 013
7枚	3.5d	3d	CF7-3.5d,3d	111, 112, 113
13枚			CF13-3.5d,3d	211, 212, 213
0枚			CF0-7d,4d	021, 022, 023
7枚	7d	4d	CF7-7d,4d	121, 122, 123
13枚			CF13-7d,4d	221, 222, 223



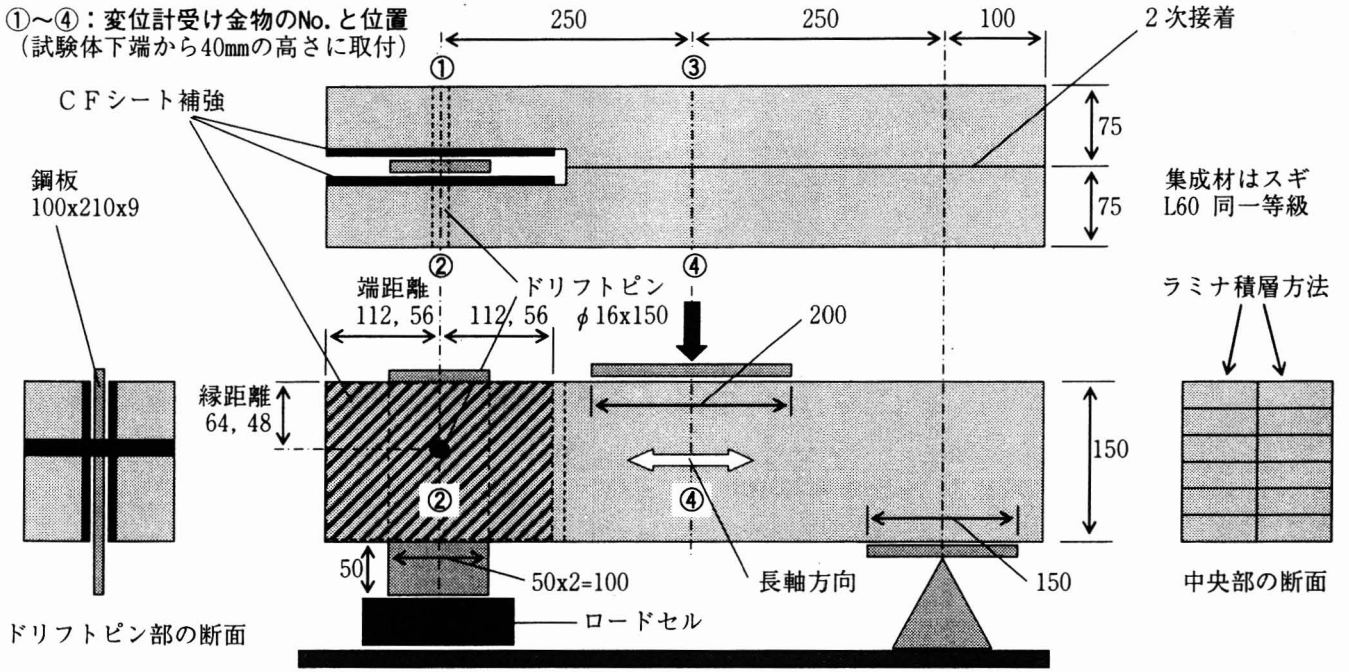


図 4-1 横引張型二面せん断試験体の仕様 (図中の「2次接着」: CFシート補強後の接着)

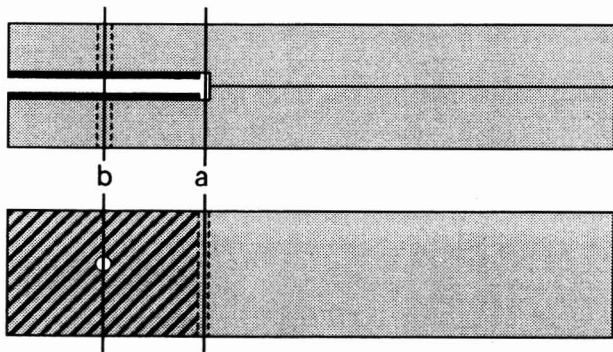


図 4-2 試験後の観察面鋸断位置 (a, b)

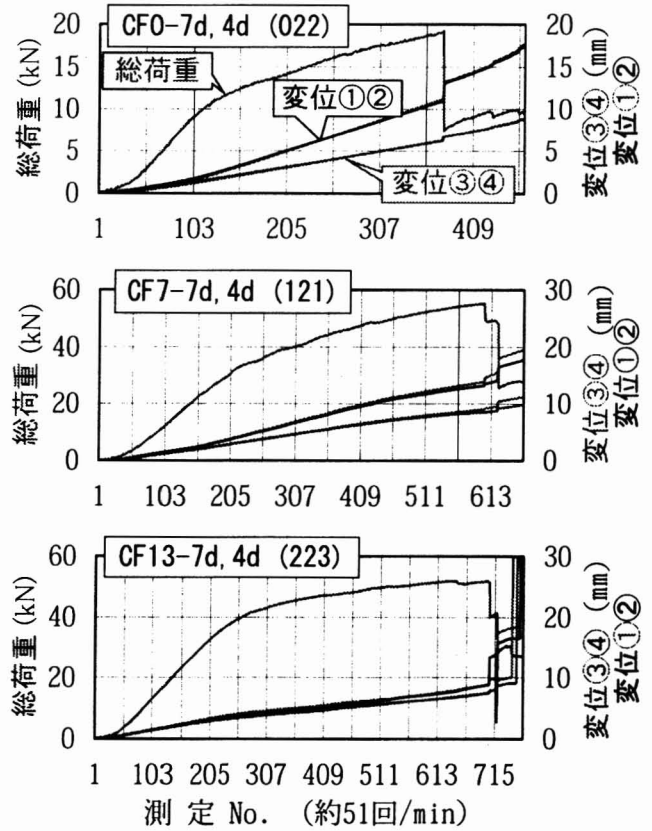


図 4-3 総荷重と変位①~④の経時変化例

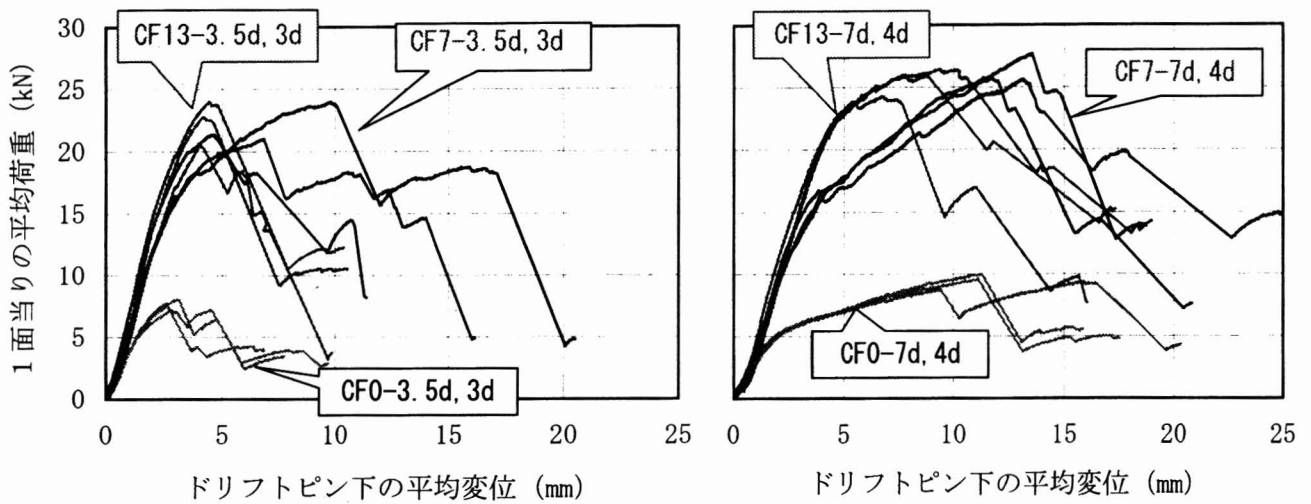


図 4-4 横引張型二面せん断試験体すべての荷重—変位曲線

表 4-2 完全弾塑性近似による横引張型二面せん断試験の評価結果 (平均値)

試験体 記号	----- 共通 -----		最初の 0.8Pmax まで		最後の 0.8Pmax まで	
	試験剛性 (kN/mm)	試験許容応力 (kN)	終局耐力 (kN)	塑性率	終局耐力 (kN)	塑性率
CF0-3.5d, 3d	3.71	4.91	6.84	2.09	6.84	2.09
CF7-3.5d, 3d	6.05	13.9	20.0	2.56	19.6	3.11
CF13-3.5d, 3d	6.63	14.2	19.9	1.95	19.9	1.95
CF0-7d, 4d	2.43	5.25	8.12	4.15	8.12	4.15
CF7-7d, 4d	4.37	15.1	22.4	2.86	22.4	2.86
CF13-7d, 4d	5.26	16.5	23.5	2.38	23.5	2.38

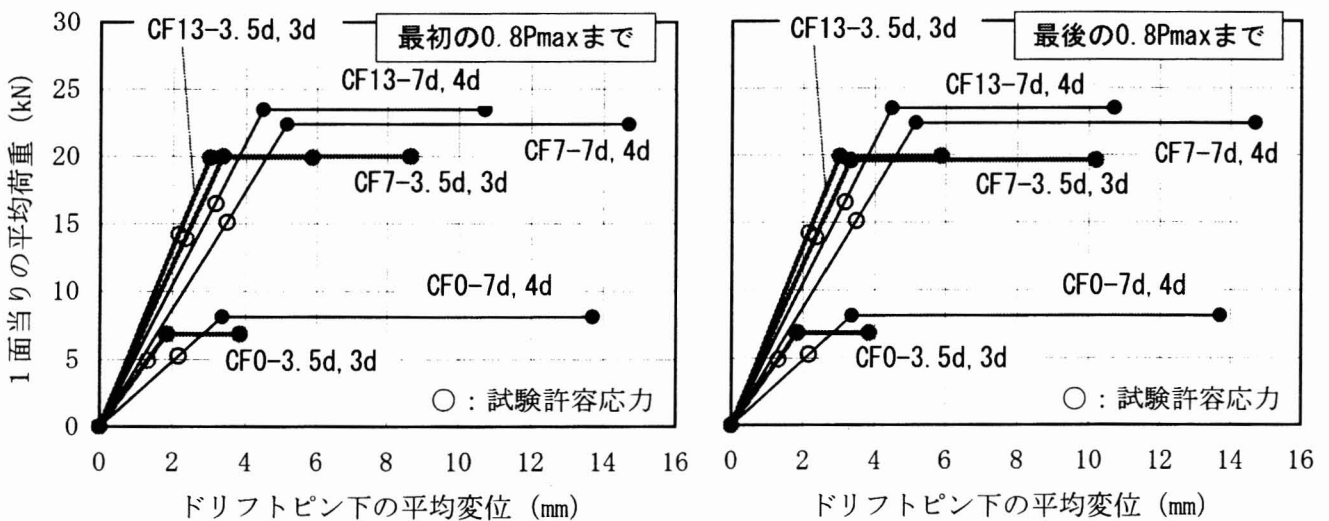
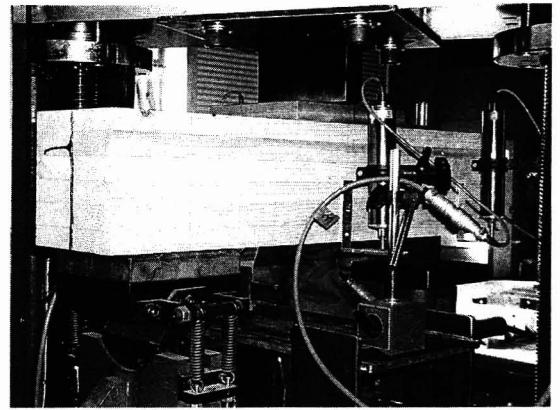
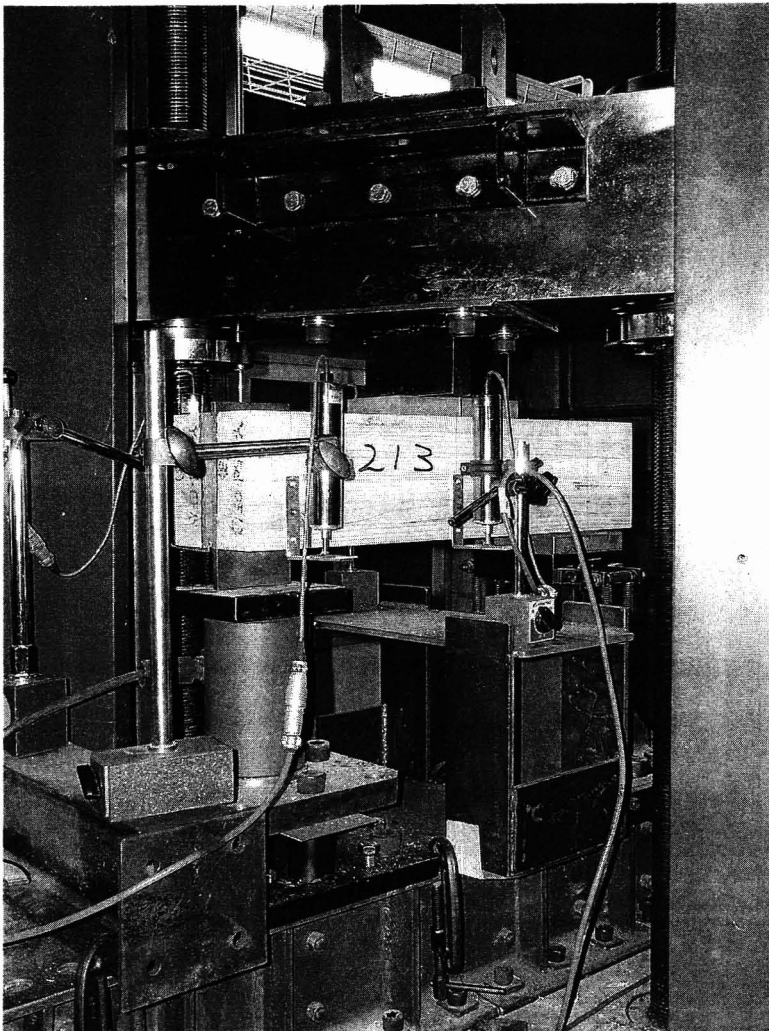


図 4-5 完全弾塑性近似による横引張型二面せん断試験の結果 (平均値による表示)



反対側から見た状態

左の写真で、手前の筒状部分が荷重計

写真 4-1 横引張型二面せん断試験の方法

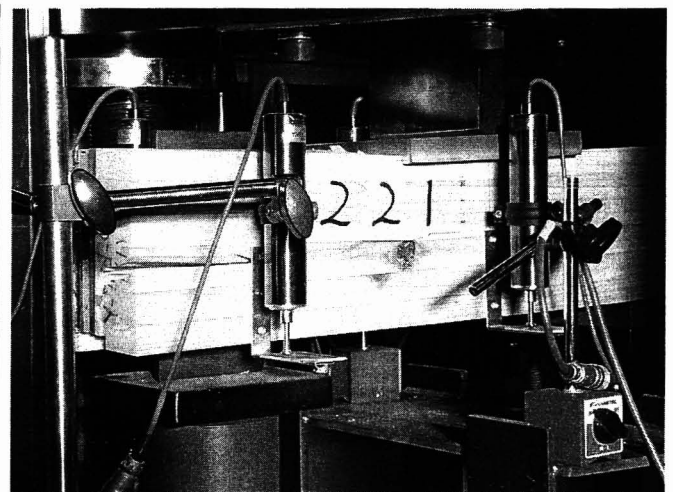
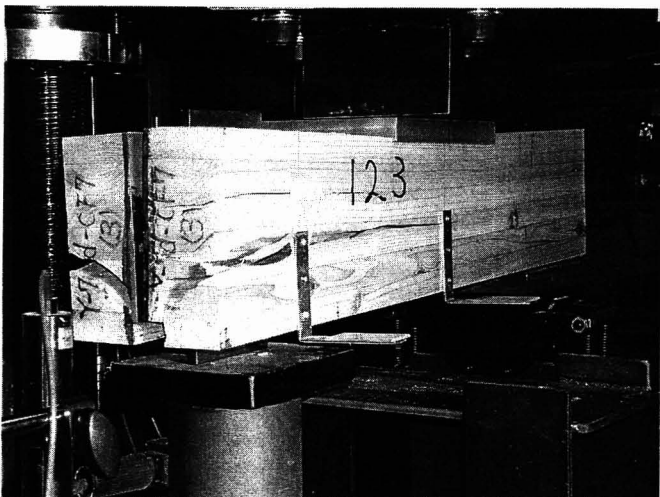


写真 4-2 横引張型二面せん断試験における载荷部鋼板のめり込み例

左：CF7-7d, 4d, 右：CF13-7d, 4d (試験体側面の数字：表 4-1 の試験体 No.)

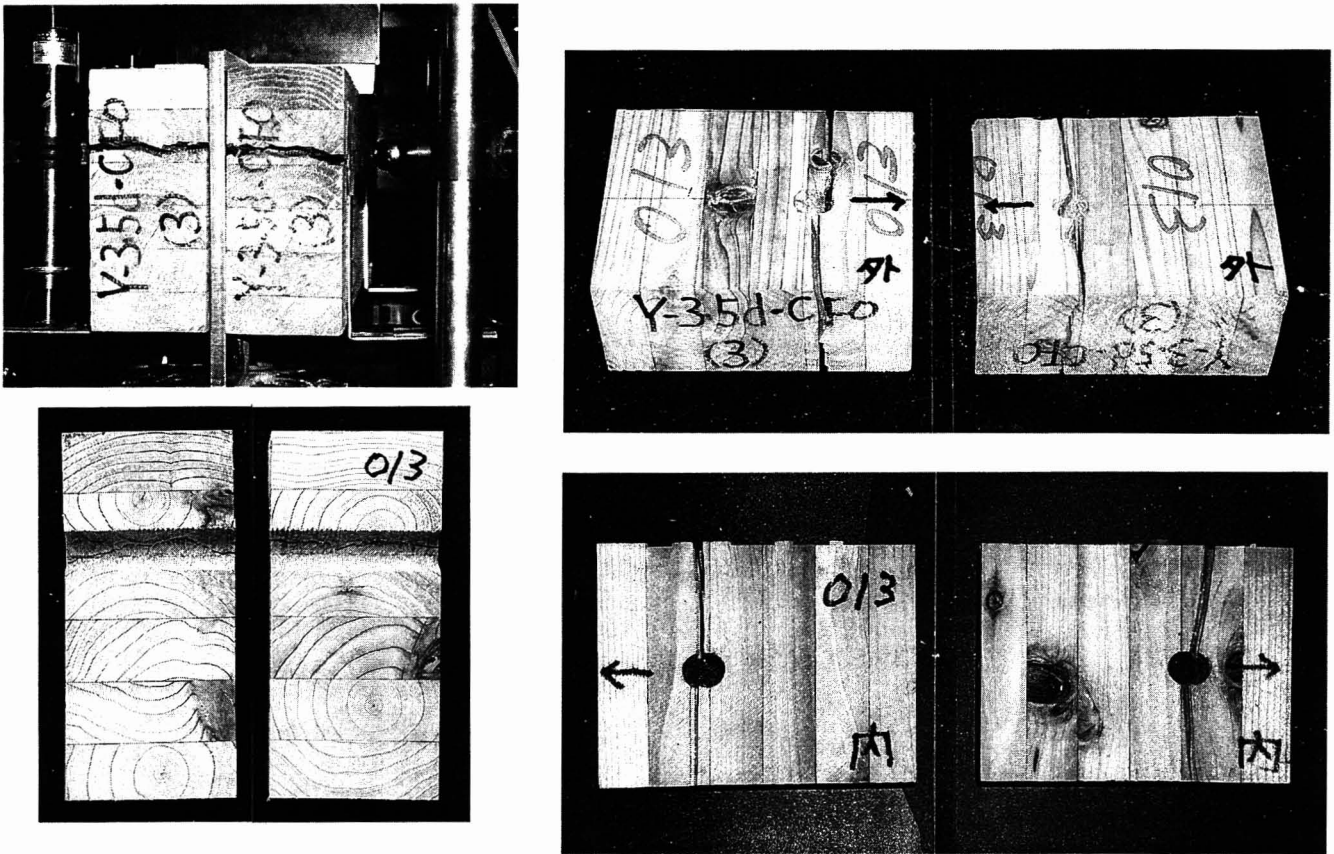


写真 4-3 CF0-3.5d, 3d の最終破壊形状 (試験体 No. 013)

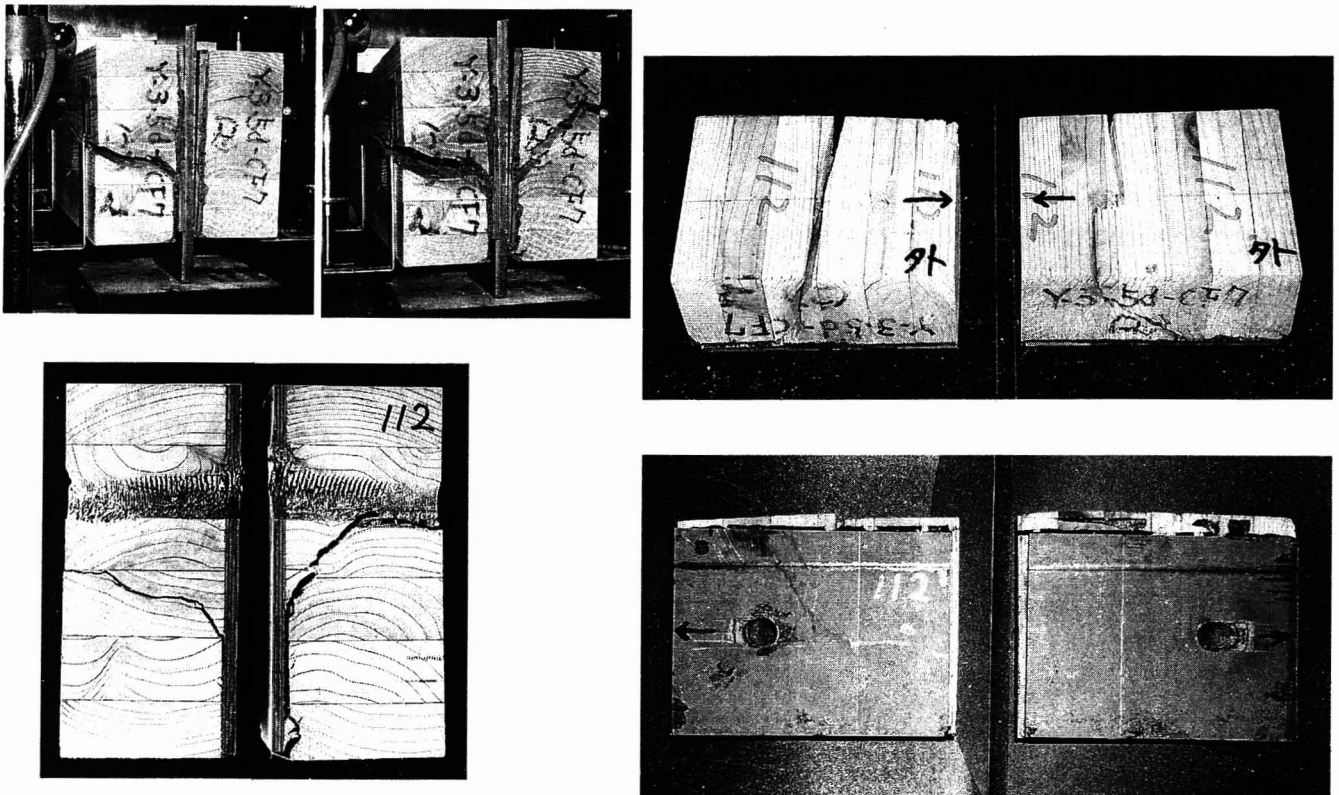


写真 4-4 CF7-3.5d, 3d の破壊過程と最終破壊形状 (試験体 No. 112)

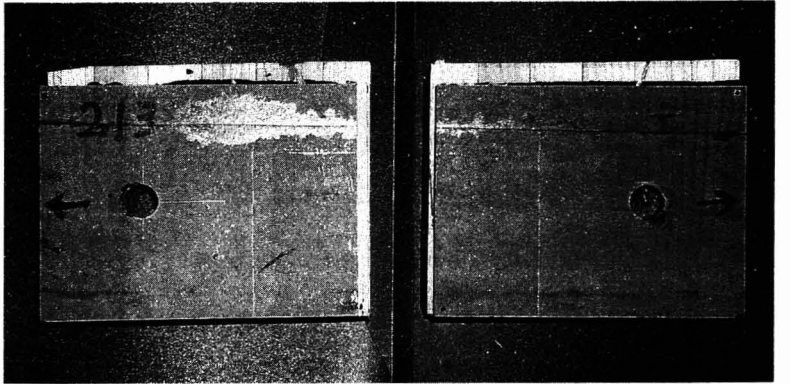
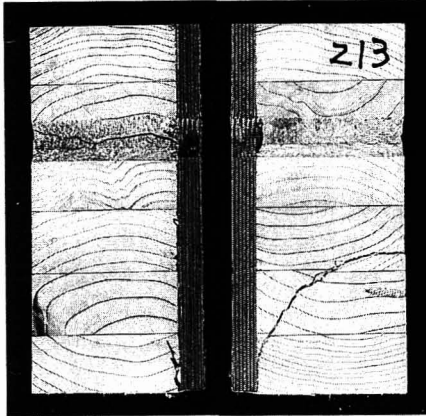
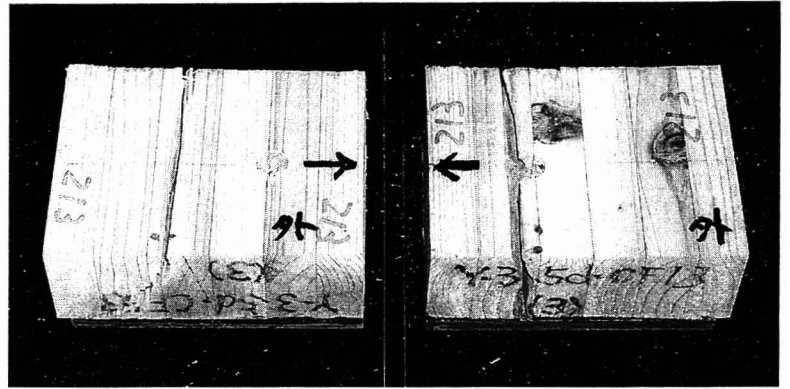
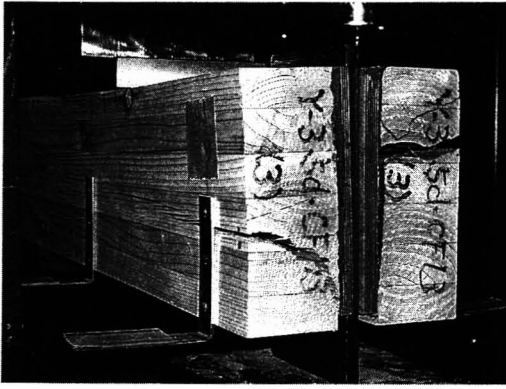


写真 4-5 CF13-3.5d, 3d の最終破壊形状 (試験体 No. 213)

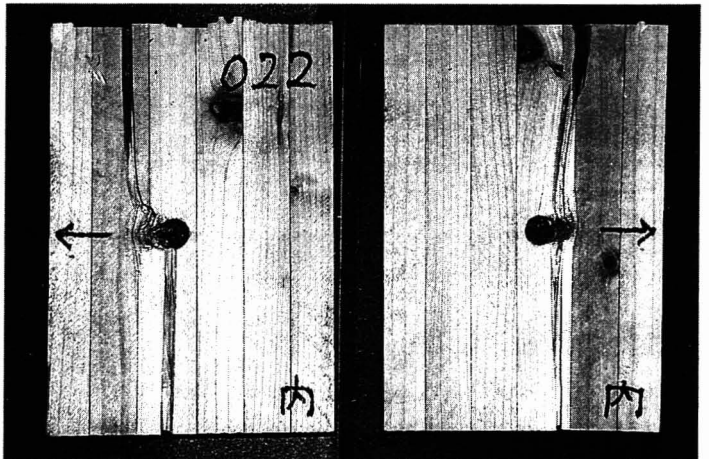
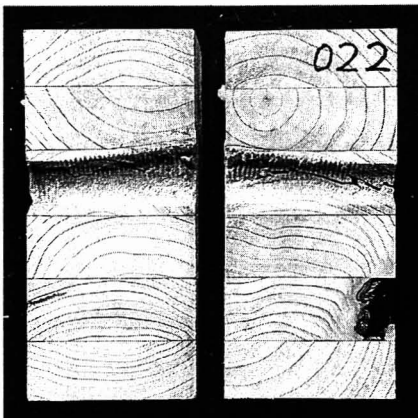
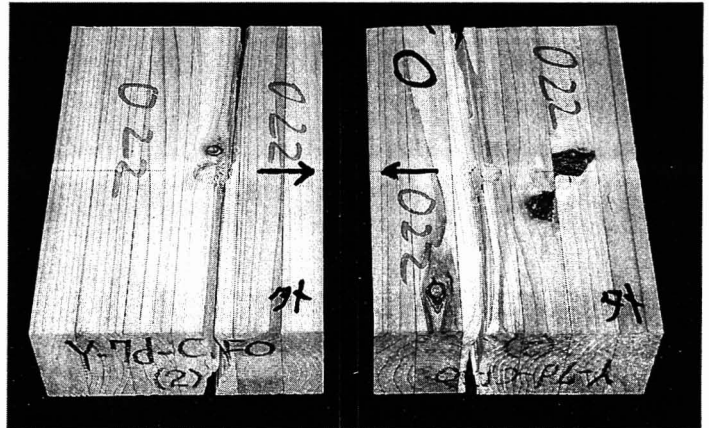
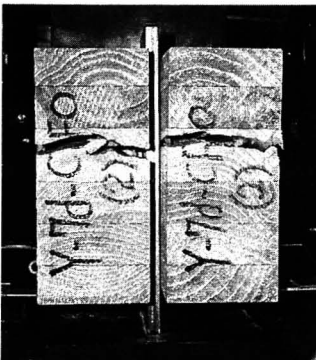


写真 4-6 CF0-7d, 4d の最終破壊形状 (試験体 No. 022)

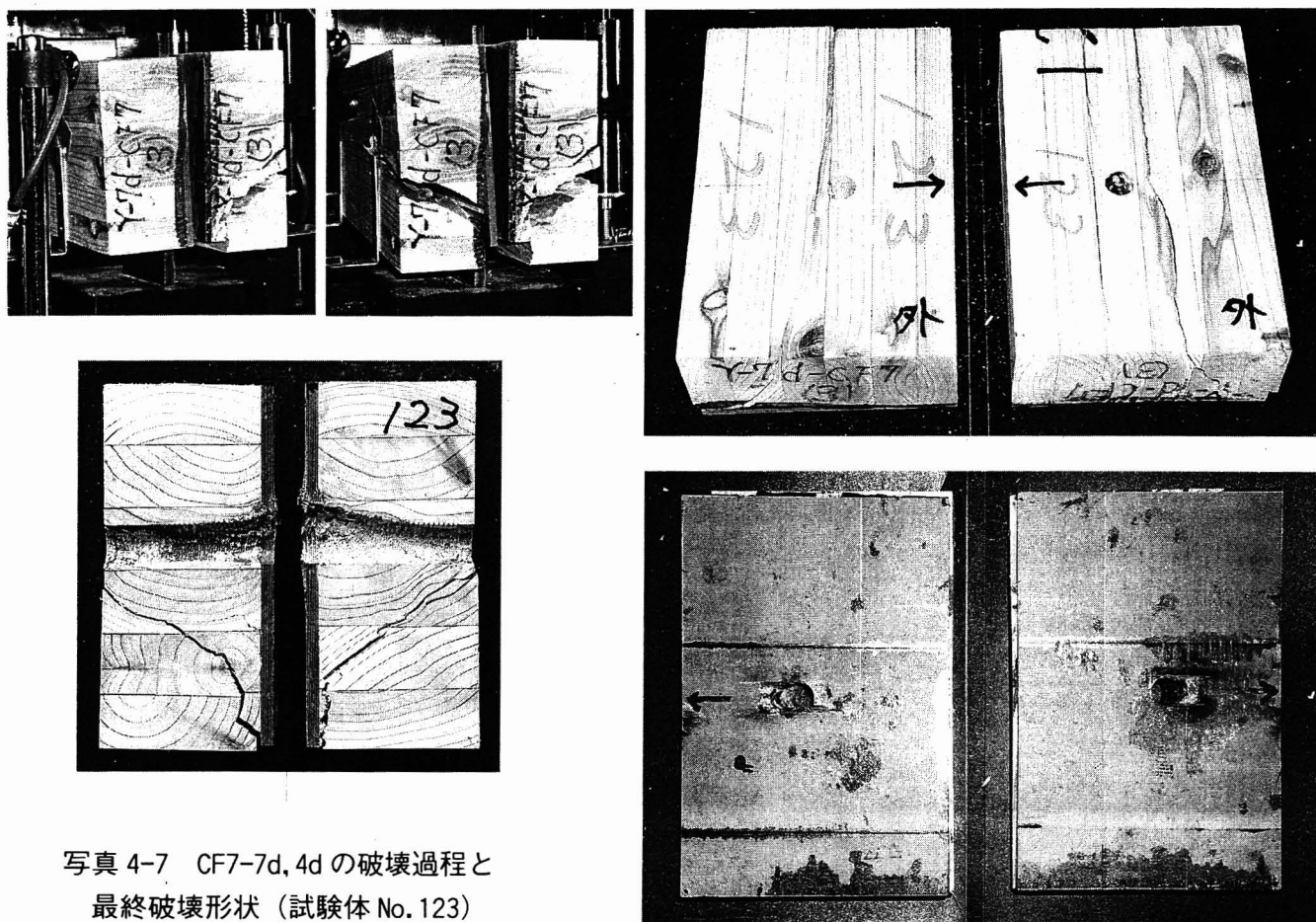


写真 4-7 CF7-7d, 4d の破壊過程と最終破壊形状 (試験体 No. 123)



写真 4-8 CF13-7d, 4d の破壊過程と最終破壊形状 (試験体 No. 223)

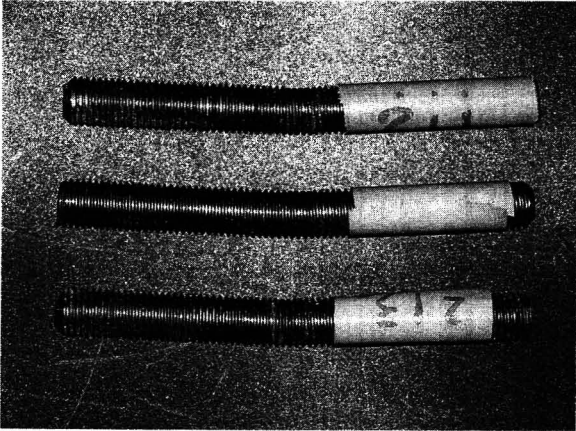
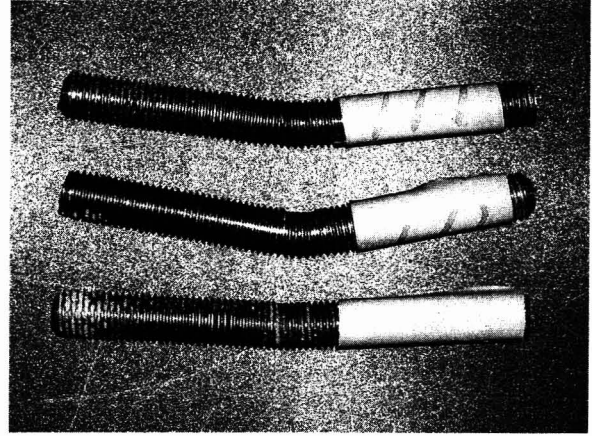
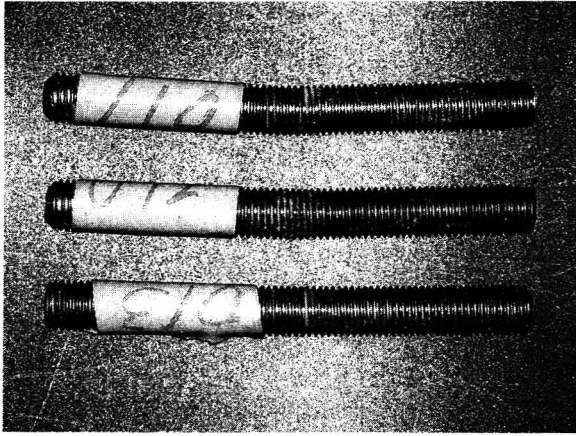


写真 4-9 試験終了後のドリフトピン形状 (1)

左上：CF0-3.5d, 3d (上から 011, 012, 013)  
右上：CF7-3.5d, 3d (上から 111, 112, 113)  
左下：CF13-3.5d, 3d (上から 211, 212, 213)

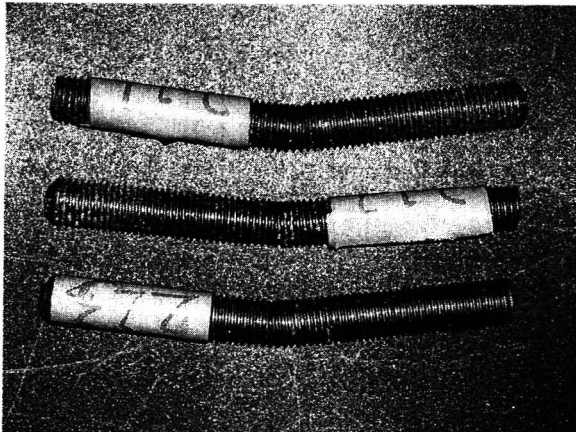
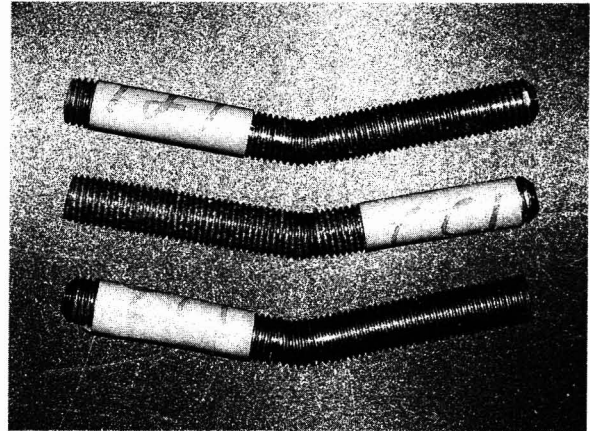
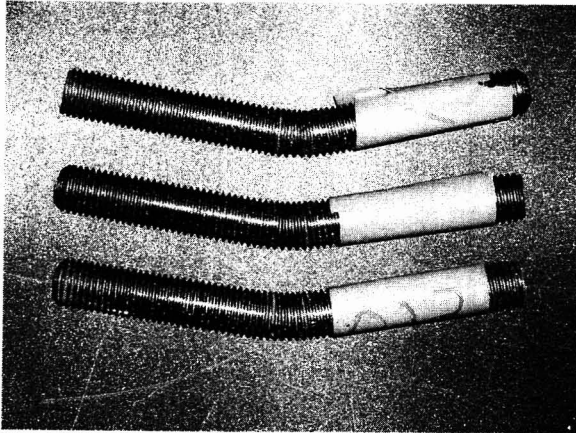


写真 4-10 試験終了後のドリフトピン形状 (2)

左上：CF0-7d, 4d (上から 021, 022, 023)  
右上：CF7-7d, 4d (上から 121, 122, 123)  
左下：CF13-7d, 4d (上から 221, 222, 223)

付表 4-1 完全弾塑性近似による横引張型二面せん断試験の評価結果

試験体 記号	試験体 No.	Xpmax (mm)	Ypmax (kN)	初期剛性			試験許容応力			降伏点荷重			降伏点荷重			(斜体は左記と異なる値)		
				直線 V 傾き (kN/mm)	直線 IV, V の交点 XY (mm)	YY (kN)	直線 V, VI の交点 XV (mm)	YV (kN)	X0.8 (mm)	0.8Pmax の 塑性率 $\mu$	面積 S (kN・mm)	直線 V, VI の交点 XV (mm)	YV (kN)	X0.8 (mm)	0.8Pmax の 塑性率 $\mu$	面積 S (kN・mm)		
CF0-3.5d, 3d	011	4.54	7.22	3.64	1.244	4.53	1.805	6.57	4.98	2.76	26.8	1.805	6.57	4.98	2.76	26.8		
	012	3.06	8.08	3.69	1.397	5.15	1.954	7.21	3.50	1.79	18.2	1.954	7.21	3.50	1.79	18.2		
	013	2.59	7.74	3.80	1.325	5.04	1.770	6.73	3.03	1.71	14.5	1.770	6.73	3.03	1.71	14.5		
	平均	3.40	7.68	3.71	1.32	4.91	1.84	6.84	3.84	2.09	19.8	1.84	6.84	3.84	2.09	19.8		
CF7-3.5d, 3d	111	6.84	21.02	5.80	2.399	13.92	3.328	19.30	7.66	2.30	115.7	<i>3.146</i>	<i>18.25</i>	<i>12.41</i>	<i>3.94</i>	<i>197.8</i>		
	112	9.80	23.97	5.40	2.837	15.33	4.003	21.63	11.15	2.79	198.0	4.003	21.63	11.15	2.79	198.0		
	113	4.61	21.35	6.94	1.808	12.54	2.744	19.04	7.10	2.59	109.0	2.744	19.04	7.10	2.59	109.0		
	平均	7.08	22.1	6.05	2.35	13.9	3.36	20.0	8.64	2.56	141	<i>3.30</i>	<i>19.6</i>	<i>10.2</i>	<i>3.11</i>	<i>168</i>		
CF13-3.5d, 3d	211	4.45	24.00	7.32	1.950	14.26	2.946	21.56	5.87	1.99	94.7	2.946	21.56	5.87	1.99	94.7		
	212	4.08	20.54	5.84	2.406	14.06	3.064	17.90	6.22	2.03	83.9	3.064	17.90	6.22	2.03	83.9		
	213	4.16	22.75	6.73	2.128	14.33	3.009	20.27	5.52	1.84	81.5	3.009	20.27	5.52	1.84	81.5		
	平均	4.23	22.4	6.63	2.16	14.2	3.01	19.9	5.87	1.95	86.7	3.01	19.9	5.87	1.95	86.7		
CF0-7d, 4d	021	15.81	9.37	2.52	2.075	5.24	3.149	7.95	17.50	5.56	126.6	3.149	7.95	17.50	5.56	126.6		
	022	11.10	9.63	2.44	2.169	5.29	3.308	8.07	11.76	3.56	81.5	3.308	8.07	11.76	3.56	81.5		
	023	11.25	9.99	2.32	2.250	5.22	3.591	8.33	11.93	3.32	84.5	3.591	8.33	11.93	3.32	84.5		
	平均	12.7	9.66	2.43	2.16	5.25	3.35	8.12	13.7	4.15	97.5	3.35	8.12	13.7	4.15	97.5		
CF7-7d, 4d	121	13.55	27.66	4.11	3.668	15.08	5.696	23.42	15.34	2.69	292.5	5.696	23.42	15.34	2.69	292.5		
	122	11.36	25.74	4.78	3.087	14.77	4.590	21.96	13.52	2.94	246.4	4.590	21.96	13.52	2.94	246.4		
	123	13.13	25.63	4.21	3.692	15.53	5.165	21.73	15.25	2.95	275.2	5.165	21.73	15.25	2.95	275.2		
	平均	12.7	26.3	4.37	3.48	15.1	5.15	22.4	14.7	2.86	271	5.15	22.4	14.7	2.86	271		
CF13-7d, 4d	221	9.40	26.44	5.08	3.558	18.07	4.756	24.15	12.48	2.62	244.0	4.756	24.15	12.48	2.62	244.0		
	222	6.70	24.26	5.54	2.374	13.16	4.063	22.52	8.57	2.11	147.2	4.063	22.52	8.57	2.11	147.2		
	223	7.67	25.96	5.15	3.547	18.28	4.619	23.80	11.16	2.42	210.7	4.619	23.80	11.16	2.42	210.7		
	平均	7.92	25.6	5.26	3.16	16.5	4.48	23.5	10.7	2.38	201	4.48	23.5	10.7	2.38	201		



## 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・独立行政法人建築研究所・財団法人日本建築センター, 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 (X X I) 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 (X X II) 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 (X X III) 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) 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, 19, 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 (X X IV) 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, 齋藤健, 齋藤潔, 遠藤善博, 笠井秀雄, 月東秀夫, 井出勇, 樋口尚登, 石原茂久, 山口修由 (2005.12) 炭素繊維強化集成材の開発 (2) 炭素繊維強化による接合性能の向上, 木質構造研究会 技術発表会 技術報告集, 9, 56-59
- 12) 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
- 13) 柴田直明, 橋爪丈夫 (2006) 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研究報告, 20, 65-93
- 14) 長野県 (柴田直明, 橋爪丈夫) (2006.1) C F 補強集成材の接合性能に関する調査, (独)建築研究所 委託業務報告書, 全 119 ページ
- 15) 柴田直明, 橋爪丈夫, 齋藤健, 齋藤潔, 笠井秀雄, 井出勇, 樋口尚登, 月東秀夫, 石原茂久, 山口修由 (2006.8, 秋田) 炭素繊維複合強化集成材の開発 (X X V) C F シート積層板の面圧強さ(続報), 日本木材学会大会 研究発表要旨集, 43 (C D-R 版 I09-0930)
- 16) 柴田直明, 齋藤潔, 橋爪丈夫, 山口修由 (2006.9, 関東) 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 3 報) -, 日本建築学会大会 学術講演梗概集 C-1 分冊, 7-8
- 17) 齋藤潔, 柴田直明, 橋爪丈夫, 山口修由 (2006.9, 関東) 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 4 報) -, 日本建築学会大会 学術講演梗概集 C-1 分冊, 9-10
- 18) 柴田直明, 橋爪丈夫, 齋藤健, 齋藤潔, 笠井秀雄, 月東秀夫, 井出勇, 樋口尚登, 石原茂久, 山口修由 (2006.11) 炭素繊維強化集成材の開発 (3) 炭素繊維による接合部のみ補強

- 効果, 木質構造研究会 技術発表会 技術報告集, 10, 64-67
- 19) 柴田直明, 橋爪丈夫 (2006.7) 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3報) -, 長野県林業総合センター 平成17年度 業務報告, 104-107
- 20) 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
- 21) 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
- 22) 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
- 23) 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
- 24) 川元紀雄, 小松幸平, 金谷紀行 (1992) ドリフトピン接合部の繊維に直交する方向のせん断耐力(第1報) 縁距離, 端距離が最大荷重に及ぼす影響, 木材学会誌, 38(1), 37-45