

### 3.3. 強度試験及びデータ整備

#### 3.3.1 曲げ試験

##### 3.3.1.1 試験体

曲げ試験体は、甲種2級に判定されたトドマツ204材（長さ2049mm）56体とした。

##### 3.3.1.2 試験方法

曲げ試験は、「枠組壁工法建築物構造計算指針」の「材料および接合部の許容応力度を定める試験・評価方法」に準じて行った。試験方法を図3.3.1に示す。試験はエッジワイズ曲げ試験とした。加力は、油圧式強度試験機（東京衡機製造所、曲げ容量200kN）を用いて行い、ロードセル（東京衡機製造所、容量200kN）で荷重を計測した。荷重方式は3等分点4点荷重とした。試験スパンは、材幅の21倍とし、1869mmとした。荷重点および支点の支持長さはいずれも200mmとした。たわみの計測は、中央部の全たわみを両側面の2か所で、また荷重点間の相対たわみをヨーク（スパンは梁せいの6倍、534mm）を用いて両側面の2か所で、それぞれひずみゲージ式変位変換器（(株)東京測器、DTA-100・容量100mm、DTA-10・容量10mm）を用いて行った。開始から最大荷重に達するまでの時間はすべての試験体で1分以上であった。強度試験後に未破壊部分から試験片を採取して全乾法により含水率を測定した。試験は、温湿度無調整下の実験棟内で行った。

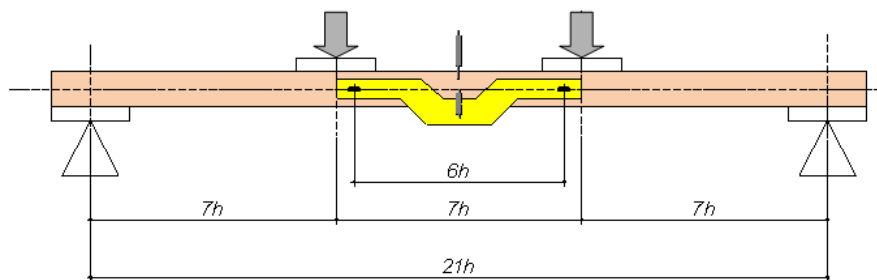


図 3.3.1 試験体図



写真 3.3.1 曲げ試験体

次に、最大荷重  $P_{\max}$  から曲げ強さ  $f_b$ 、荷重  $P$  とたわみ  $d$  の関係から曲げヤング係数  $E$  および見かけの曲げヤング係数  $E_a$  を次式により算出した。なお、荷重点間の外側の欠点で曲げ破壊した一部の試験体では、破壊地点で生じた曲げモーメントから曲げ強さを求めた。

$$f_b = \frac{P_{\max} \cdot L}{6 \cdot Z}$$

$$E = \frac{P \cdot L \cdot L_2^2}{48 \cdot \delta_1 \cdot I}$$

$$E_a = \frac{23 \cdot P \cdot L^3}{1296 \cdot \delta_2 \cdot I}$$

ここで、 $f_b$  : 曲げ強さ (N/mm<sup>2</sup>)  
 $E$  : 純曲げヤング係数 (kN/mm<sup>2</sup>)  
 $E_a$  : 見かけの曲げヤング係数 (kN/mm<sup>2</sup>)  
 $P_{\max}$  : 最大荷重 (N)  
 $L$  : 試験スパン (mm)  
 $L_2$  : ヨークスパン (mm)  
 $Z$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)  
 $I$  : 断面二次モーメント (mm<sup>4</sup>)  
 $P$  : 最大荷重の 10~40% までの荷重増分 (N)  
 $d_1$  : 荷重増分  $P$  に対応する中央たわみの平均増分 (mm)  
 $d_2$  : 荷重増分  $P$  に対応する相対たわみの平均増分 (mm)

### 3.3.1.3 試験結果

試験結果を表 3.3.1~3.3.2 に、曲げ破壊の代表例を写真 3.3.2~3.3.4 に示す。

表 3.3.1 曲げ試験個別データ

試験体 番号	目視等 級 甲種	密度 kg/m <sup>3</sup>	$E_f$ GPa	$b$ mm	$h$ mm	曲がり mm	平均 年輪幅 mm	MC %	$F_b$ MPa	$E_a$ GPa	$E$ GPa
002_4	2	436	12.6	38.3	89.2	1	5.3	10.6%	39.3	12.1	12.2
005_3	2	422	13.9	38.3	89.1	0	3.7	10.9%	63.9	14.6	15.7
005_4	2	397	10.3	38.2	89.0		3.9	11.4%	59.1	11.0	11.3
013_1	2	391	10.6	38.2	88.9	2	3.3	11.1%	36.9	9.8	10.1
016_1	2	411	12.5	38.2	89.2	2	4.2	10.6%	38.6	13.3	14.0
020_3	2	425	13.1	38.2	89.1		4.6	10.9%	37.4	12.7	11.6
025_5	2	446	13.3	38.4	89.3	0	3.3	11.8%	19.9	13.9	14.5
030_3	2	403	10.9	38.2	89.1	0	5.1	12.0%	53.9	12.3	13.3
031_5	2	394	12.8	38.4	89.1	1	4.9	12.5%	69.0	13.3	13.9
040_1	2	405	11.2	38.3	89.2	2	3.6	12.4%	26.3	10.6	9.4
060_1	2	404	10.2	38.2	89.1		4.6	13.1%	25.1	9.6	8.4
061_4	2	366	9.9	38.2	89.0	0	2.7	12.7%	59.6	10.7	11.9
065_4	2	422	12.6	38.2	88.9		2.4	13.0%	64.9	14.0	15.0
079_2	2	459	11.4	38.2	89.1	1	3.2	12.2%	46.7	11.6	13.0
079_3	2	408	10.3	38.2	89.1		3.7	11.0%	38.0	10.5	11.0
080_1	2	378	9.8	38.3	89.0		4.4	13.0%	28.3	10.3	11.4
080_4	2	385	8.8	38.3	89.1		6.3	12.1%	19.8	9.0	9.6
083_1	2	408	12.1	38.3	89.1	0	2.1	12.9%	42.3	12.5	13.1
089_1	2	396	11.0	38.3	89.2		2.6	11.3%	24.6	9.9	9.4
091_1	2	382	10.2	38.3	89.3	0	3.0	12.2%	34.5	10.1	9.7
091_2	2	398	9.4	38.3	89.2		6.0	13.0%	38.3	10.3	11.2
092_4	2	405	11.2	38.3	89.2	0	3.8	12.7%	55.7	11.8	12.3
100_4	2	438	11.0	38.2	88.8	1	3.2	13.2%	46.2	10.9	12.2
101_3	2	419	10.5	38.6	89.2		4.1	11.9%	36.9	11.4	12.2

試験体 番号	目視等 級 甲種	密度 kg/m <sup>3</sup>	$E_{fr}$ GPa	$b$ mm	$h$ mm	曲がり mm	平均 年輪幅 mm	MC %	$F_b$ MPa	$E_a$ GPa	$E$ GPa
104_1	2	388	10.7	38.3	89.1	1	5.0	12.3%	44.8	11.1	11.8
104_3	2	381	10.0	38.3	88.7		4.6	10.5%	41.5	9.6	10.5
108_3	2	401	10.6	38.2	89.1	3	3.6	11.8%	41.5	11.1	11.4
109_4	2	467	12.5	38.7	89.4	0	4.3	12.8%	56.8	12.8	13.9
111_1	2	442	9.3	38.2	89.1	1	4.6	12.4%	23.2	8.8	9.5
112_1	2	413	12.2	38.3	89.1	3	4.1	12.0%	55.5	12.1	12.8
112_3	2	384	11.4	38.3	89.0		4.0	10.3%	25.7	11.0	11.2
114_3	2	421	10.7	38.2	89.0		4.9	12.6%	27.5	10.5	12.8
114_5	2	386	9.6	38.3	89.0	1	4.3	12.9%	32.3	9.0	11.1
116_1	2	405	12.6	38.3	89.2		2.6	10.5%	57.8	12.6	12.9
116_2	2	408	9.6	38.2	89.5		3.5	11.7%	53.6	10.3	10.2
117_1	2	386	11.2	38.2	88.9	0	4.0	11.6%	36.7	11.1	11.3
119_1	2	489	11.3	38.4	89.2	0	3.6	12.3%	48.2	11.5	11.9
120_1	2	389	10.8	38.3	89.1	2	4.0	12.5%	27.8	10.2	10.8
122_1	2	410	12.2	38.2	89.0		4.8	12.8%	58.5	13.2	14.8
125_1	2	411	9.5	38.3	89.1	1	4.4	11.8%	36.2	9.8	9.5
126_1	2	397	9.7	38.3	89.0	1	3.9	13.1%	37.2	10.2	10.9
127_1	2	366	8.0	38.3	89.0	1	5.3	11.3%	27.4	8.5	10.6
128_1	2	393	11.8	38.2	89.1	2	4.8	12.2%	49.9	12.1	12.8
131_1	2	426	11.3	38.3	89.0	0	3.6	12.7%	62.8	12.0	12.8
132_3	2	371	10.8	38.3	89.1	0	3.1	10.3%	46.9	10.4	10.9
133_1	2	423	11.3	38.3	89.1	0	5.0	11.9%	50.3	12.0	12.3
135_2	2	478	13.7	38.4	89.2		3.6	10.5%	66.5	14.0	14.1
137_1	2	396	12.4	38.3	89.2		4.9	11.7%	72.5	13.0	13.6
137_4	2	390	10.7	38.3	89.1	1	3.9	10.5%	59.7	11.7	12.1
141_1	2	389	11.8	38.4	89.3	0	3.7	11.2%	47.6	12.2	12.6
141_3	2	415	11.6	38.2	89.0		3.6	11.3%	31.5	12.2	13.3
141_5	2	463	13.1	38.4	89.2	3	4.6	11.9%	30.6	13.1	14.2
143_1	2	419	12.1	38.4	89.3		3.6	11.5%	43.3	12.4	12.2
143_6	2	432	11.2	38.2	89.1		4.0	10.2%	47.0	11.0	11.3
145_1	2	413	11.1	38.3	88.9	2	3.1	11.9%	30.2	11.4	10.9
161_2	2	373	8.6	38.4	89.2		5.2	10.2%	19.9	8.2	7.5

※ $E_{fr}$ : 打撃法による動的ヤング係数,  $b$ : 試験体の短辺長さ,  $h$ : 試験体の長辺長さ, MC: 全乾法による含水率,  $F_b$ : 曲げ強さ,  $E_a$ : 見かけの曲げヤング係数,  $E$ : 純曲げヤング係数

表 3.3.1 曲げ試験結果

	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$E_{fr}$ GPa	$b$ mm	$h$ mm	$\Delta$ mm	ARW mm	MC %	$F_b$ MPa	$E_a$ GPa	$E$ GPa
Max	489	13.9	38.7	89.5	3.0	6.3	13.2%	72.5	14.6	15.7
AV	409	11.1	38.3	89.1	0.9	4.0	11.8%	42.8	11.3	11.9
Min	366	8.0	38.2	88.7	0.0	2.1	10.2%	19.8	8.2	7.5
SD	27	1.3	0.1	0.1	1.0	0.9	0.9%	14.0	1.5	1.7
CV	6.6%	11.8%	0.2%	0.2%	104%	21.6%	7.5%	32.7%	13.0%	14.4%
$n$	56	56	56	56	34	56	56	56	56	56

※Max：最大値，AV：平均値，Min：最小値，SD：標準偏差，CV：変動係数(%)， $n$ ：試験体数， $\rho$ ：密度， $E_{fr}$ ：打撃法による動的ヤング係数， $b$ ：試験体の短辺長さ， $h$ ：試験体の長辺長さ， $\Delta$ ：試験体材長に対する曲がりの最大矢高量，ARW：平均年輪幅，MC：全乾法による含水率， $F_b$ ：曲げ強さ， $E_a$ ：見かけの曲げヤング係数， $E$ ：純曲げヤング係数。

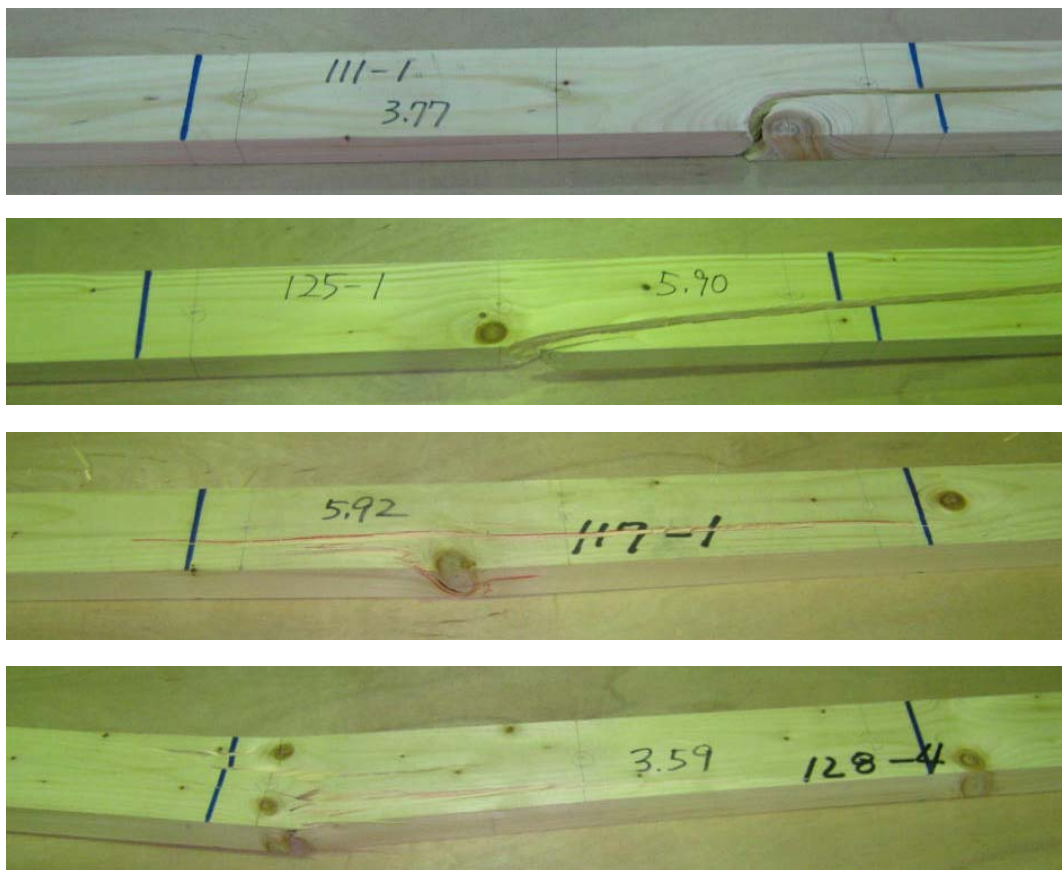


写真 3.3.2 曲げ破壊の代表例（材縁部の節）

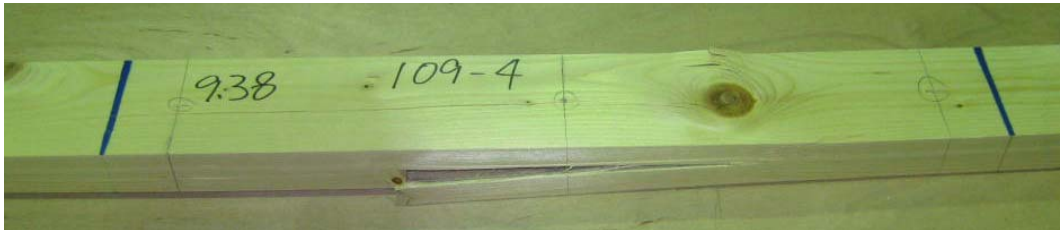
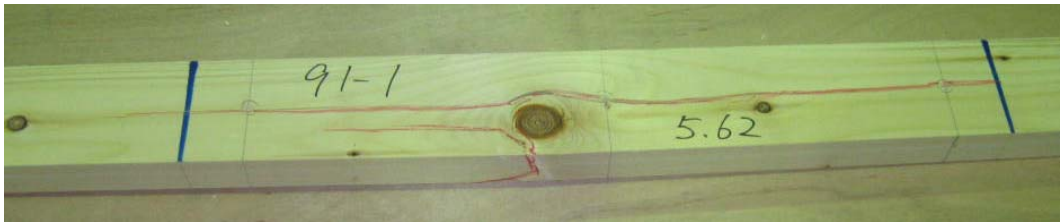


写真 3.3.3 曲げ破壊の代表例（材中央の節）

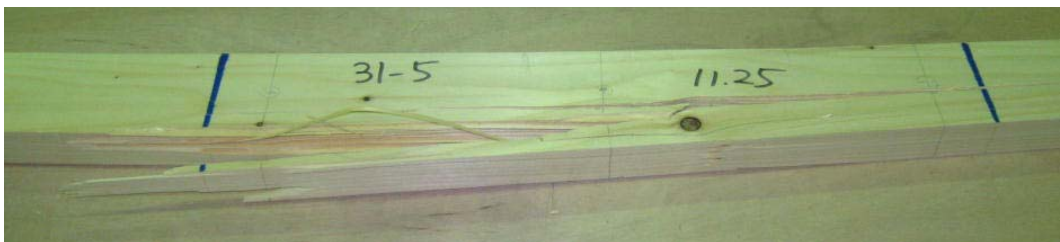


写真 3.3.4 曲げ破壊の代表例（小さな欠点）

### 3.3.2 引張試験

#### 3.3.2.1 試験体

引張試験体は、甲種2級に判定されたトドマツ 204材（長さ 2400mm）60体とした。

#### 3.3.2.2 試験方法

引張試験は、「枠組壁工法建築物構造計算指針」の「材料および接合部の許容応力度を定める試験・評価方法」に準じて行った。試験方法を図5に示す。加力は、実大引張試験機（岩崎（株）製、最大容量 1000kN、油圧式チャック）を用いて行い、荷重計測には容量 500kN のロードセルを使用した。片側把持部の長さは 800mm とし、チャック間距離は材幅の 9 倍とし、801mm とした。破壊した試験体のうち、チャック内で破断した試験体 8 体をデータから除外したため、測定数は 52 体となった。開始から最大荷重に達するまでの時間はすべての試験体で 1 分以上であった。強度試験後に未破壊部分から試験片を採取して全乾法により含水率を測定した。試験は、温湿度無調整下の実験棟内で行った。

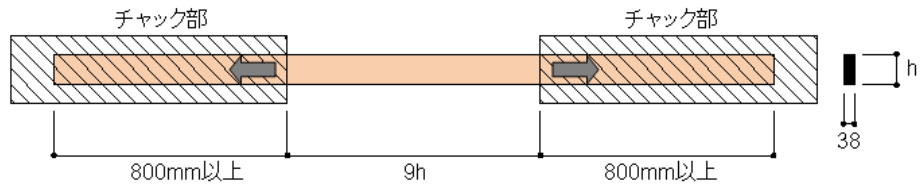


図 3.3.2 引張試験体図



写真 3.3.5 引張試験方法

次に、最大荷重  $P_{\max}$  から引張強さ  $F_t$  を下式により算出した。

$$F_t = \frac{P_{\max}}{b \cdot h}$$

ここで、 $F_t$  : 引張強さ (N/mm<sup>2</sup>)

$P_{\max}$  : 最大荷重 (N)

$b$  : 試験体断面の短辺 (mm)

$h$  : 試験体断面の長辺 (mm)

### 3.3.2.3 試験結果

試験結果を表 3.3.3~3.3.4 に、引張破壊の代表例を写真 3.3.6~3.3.10 に示す。

表 3.3.3 引張試験個別データ

試験体番号	目視等級 甲種	密度 kg/m <sup>3</sup>	$E_f$ GPa	$b$ mm	$h$ mm	平均年輪幅 mm	MC %	$F_t$ MPa
001_2	2	420	11.2	38.1	89.0	4.1	12.4%	21.9
005_5	2	387	9.3	38.2	89.0	2.3	11.7%	26.5
006_1	2	366	10.4	38.5	89.1	3.4	11.5%	30.5
006_3	2	393	10.4	38.4	89.1	7.0	11.0%	22.3
008_1	2	372	10.2	38.3	89.2	4.8	11.6%	19.1
011_4	2	339	9.9	38.4	89.2	2.6	11.5%	21.7
012_1	2	370	11.5	38.1	89.0	6.0	12.6%	33.3
012_2	2	434	12.3	38.5	89.3	4.0	11.2%	29.9
015_1	2	386	10.7	38.2	89.1	3.5	11.4%	34.7
015_3	2	416	10.7	38.2	89.1	3.2	11.1%	33.8



試験体番号	目視等級 甲種	密度 kg/m <sup>3</sup>	$E_{\sigma}$ GPa	$b$ mm	$h$ mm	平均年輪幅 mm	MC %	$F_t$ MPa
019_1	2	391	10.6	38.2	89.1	3.4	11.8%	34.6
019_2	2	415	13.2	38.4	89.4	4.6	11.5%	14.0
023_2	2	406	11.5	38.2	89.1	3.6	11.6%	31.5
023_3	2	376	9.3	38.3	89.4	4.3	11.0%	23.3
025_4	2	473	13.6	38.7	89.2	2.3	11.6%	20.7
030_4	2	343	8.8	38.2	89.1	4.3	11.5%	34.5
031_2	2	393	9.3	38.7	89.1	4.3	12.9%	19.1
031_4	2	410	9.8	38.5	89.0	2.2	14.2%	32.6
032_4	2	347	7.3	38.2	89.0	4.1	12.8%	22.9
034_1	2	424	13.1	38.2	89.1	3.4	11.5%	27.1
035_1	2	439	10.3	38.4	89.1	3.3	12.3%	26.5
043_1	2	411	12.4	38.5	89.0	4.0	12.7%	22.4
045_1	2	443	10.2	38.5	89.2	5.0	13.0%	43.4
045_2	2	418	10.7	38.2	89.1	5.8	13.9%	17.3
045_3	2	393	10.5	38.4	89.2	3.5	14.0%	28.4
045_4	2	412	11.2	38.5	89.3	4.4	12.8%	19.0
049_3	2	439	12.4	38.2	89.3	4.0	13.1%	17.5
050_4	2	373	9.8	38.2	88.8	3.8	12.1%	20.0
053_2	2	392	9.3	38.2	89.1	3.2	12.3%	28.2
055_5	2	386	7.8	38.2	88.9	2.9	12.9%	33.0
057_1	2	367	9.4	38.2	88.8	3.4	13.7%	24.1
065_3	2	401	9.6	38.2	89.0	2.7	12.8%	21.3
065_5	2	395	9.8	38.2	89.1	4.3	12.8%	49.8
066_2	2	392	9.8	38.4	89.0	3.6	12.6%	31.3
066_3	2	427	13.4	38.1	88.9	3.1	13.2%	40.8
072_1	2	393	9.4	38.5	89.1	4.1	13.1%	31.5
072_2	2	370	10.2	38.5	89.0	4.3	14.5%	26.8
073_1	2	429	11.2	38.2	88.8	3.6	13.0%	19.6
075_1	2	403	12.3	38.2	88.9	2.8	12.7%	27.3
088_2	2	388	8.7	38.2	89.0	3.5	11.4%	44.5
090_4	2	381	8.6	38.4	88.7	3.0	14.2%	25.6
092_1	2	422	12.1	38.2	89.1	5.2	13.5%	9.1
101_1	2	371	9.8	38.2	89.0	3.8	12.3%	23.1
118_5	2	394	11.0	38.2	89.0	6.3	12.4%	21.5
119_5	2	408	10.2	38.1	89.2	3.2	12.6%	21.7
120_3	2	384	9.8	38.2	89.0	3.7	11.8%	35.6
135_1	2	442	12.7	38.2	89.2	3.3	12.3%	26.0
137_5	2	400	11.3	38.3	89.0	6.6	11.8%	15.2
142_1	2	392	10.7	38.2	88.8	4.0	12.9%	20.4
144_1	2	410	12.2	38.2	89.0	3.6	10.9%	21.9
146_1	2	438	13.0	38.2	89.1	3.8	11.3%	20.8
173_4	2	399	11.4	38.2	89.0	5.0	12.4%	22.3

※ $E_{\sigma}$ : 打撃法による動的ヤング係数,  $b$ : 試験体の短辺長さ,  $h$ : 試験体の長辺長さ, MC: 全乾法による含水率,  $F_t$ : 引張強さ

表 3.3.4 引張試験結果

	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$E_{fr}$ GPa	$b$ mm	$h$ mm	ARW mm	MC %	$F_t$ MPa
Max	473	13.6	38.7	89.4	7.0	14.5	49.8
AV	399	10.7	38.3	89.1	3.9	12.4	26.3
Min	339	7.3	38.1	88.7	2.2	10.9	9.1
SD	27	1.4	0.1	0.1	1.0	0.9	8.0
CV	6.8%	13.5%	0.4%	0.2%	26.6%	7.4%	30.4%
$n$	52	52	52	52	52	52	52

※Max: 最大値, AV: 平均値, Min: 最小値, SD: 標準偏差, CV: 変動係数(%),  $n$ : 試験体数,  $\rho$ : 密度,  $E_{fr}$ : 打撃法による動的ヤング係数,  $b$ : 試験体の短辺長さ,  $h$ : 試験体の長辺長さ, ARW: 平均年輪幅, MC: 全乾法による含水率,  $F_t$ : 引張強さ。

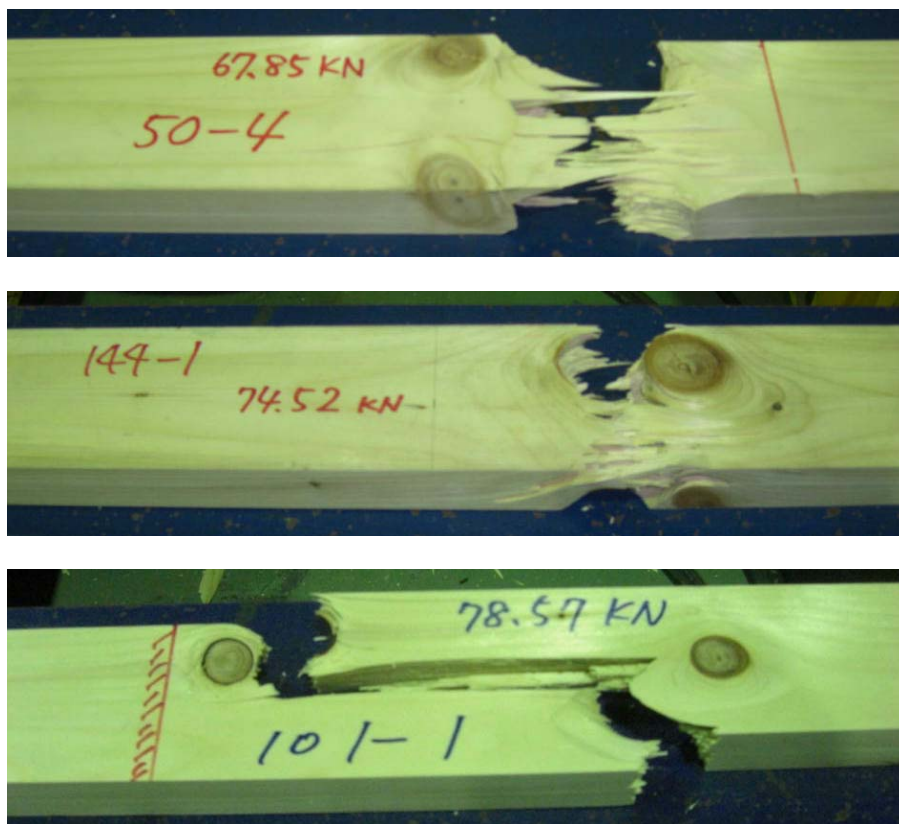


写真 3.3.6 引張破壊の代表例 (材縁部の節)



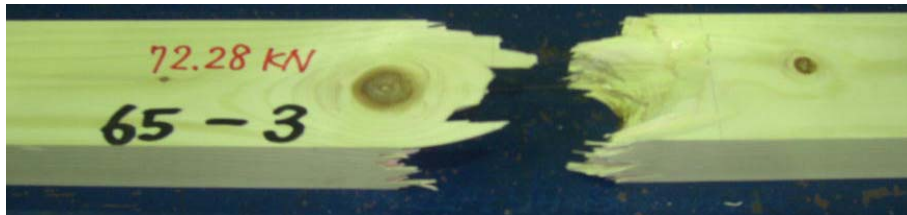


写真 3.3.7 引張破壊の代表例 (材中央の節)

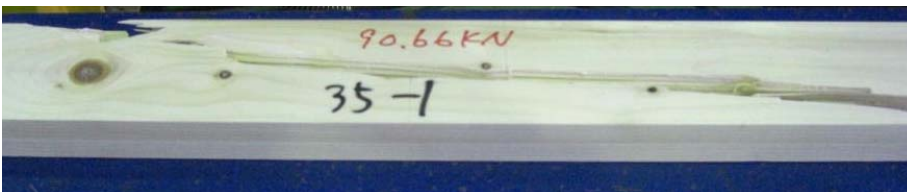


写真 3.3.8 引張破壊の代表例 (目切れ)

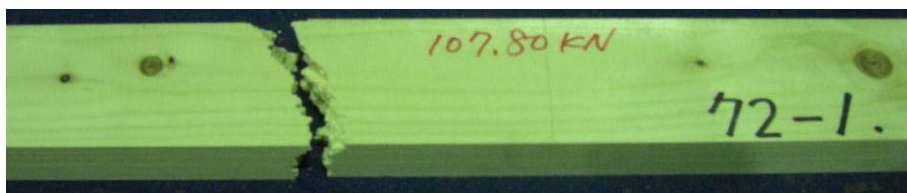
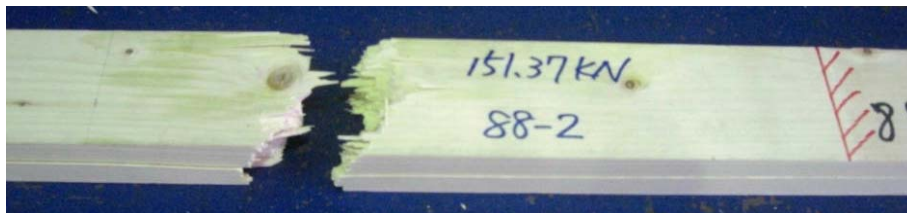


写真 3.3.9 引張破壊の代表例 (小さな欠点)

### 3.3.3 縦圧縮試験

#### 3.3.3.1 試験体

縦圧縮試験体は、甲種2級に判定されたトドマツ204材（長さ267mm）63体とした。

#### 3.3.3.2 試験方法

圧縮試験は、「枠組壁工法建築物構造計算指針」の「材料および接合部の許容応力度を定める試験・評価方法」に準じて行った。縦圧縮試験の方法を図10に示す。加力は、油圧式強度試験機（東京衡機製造所、圧縮容量1000kN）を用いて行い、ロードセル（東京衡機製造所、容量1000kN）で荷重を計測した。加圧部分の鋼板はピン支承であり、鋼板の回転方向が試験体の長辺と平行になるように試験体を設置した。開始から最大荷重に達するまでの時間はすべての試験体で1分以上であった。強度試験後に未破壊部分から試験片を採取して全乾法により含水率を測定した。試験は、温湿度無調整下の実験棟内で行った。



写真 3.3.10 縦圧縮試験方法

次に、最大荷重  $P_{\max}$  から縦圧縮強さ  $F_c$  を下式により算出した。

$$F_c = \frac{P_{\max}}{b \cdot h}$$

ここで、 $F_c$ ：引張強さ（N/mm<sup>2</sup>）

$P_{\max}$ ：最大荷重（N）

$b$ ：試験体断面の長辺（mm）

$h$ ：試験体断面の短辺（mm）

### 3.3.3.3 試験結果

試験結果を表 3.3.5～3.3.6 に、圧縮破壊の代表例を写真 3.3.11～3.3.13 に示す。

表 3.3.5 縦圧縮試験個別データ

試験体番号	目視等級 甲種	kg/m <sup>3</sup>	<i>b</i> mm	<i>h</i> mm	平均年輪幅 mm	MC %	<i>F<sub>c</sub></i> MPa
015_4_1	2	372	38.2	89.0	2.6	9.5%	26.7
015_4_2	2	354	38.2	89.1	2.7	9.6%	32.9
015_4_3	2	294	38.2	89.1	2.7	8.9%	27.8
025_3	2	376	38.1	89.2	7.0	9.0%	30.6
028_1_1	2	460	38.0	88.9	5.0	10.3%	30.2
028_1_2	2	398	38.1	88.8	3.7	9.9%	29.7
032_5	2	408	38.2	88.9	2.9	10.0%	23.7
036_3_1	2	437	38.1	88.4	2.5	10.2%	24.5
036_3_2	2	441	38.2	89.0	2.9	9.8%	26.3
036_3_3	2	446	38.2	89.0	3.0	10.6%	25.6
036_3_4	2	441	38.1	88.7	2.5	10.1%	28.0
036_3_5	2	444	38.2	88.7	2.5	10.0%	26.8
049_1	2	366	38.2	89.0	2.9	10.0%	30.0
050_1_1	2	432	38.0	88.7	6.0	10.0%	25.8
050_1_2	2	417	38.2	88.9	6.0	9.4%	27.6
050_1_3	2	392	38.0	88.8	6.0	10.1%	31.3
053_1	2	419	38.1	88.8	2.8	10.5%	26.7
058_3	2	368	38.2	88.9	3.6	9.4%	28.5
059_1_1	2	469	38.1	88.3	3.4	10.4%	30.0
059_1_2	2	476	38.2	88.8	3.2	9.8%	29.6
060_3_1	2	484	38.2	88.9	3.6	9.8%	30.7
060_3_2	2	431	38.1	88.8	2.3	9.7%	39.6
060_3_3	2	441	38.2	89.0	2.8	9.7%	39.1
060_5	2	421	38.1	88.4	2.8	10.4%	26.6
062_3_1	2	411	38.2	88.8	3.9	9.6%	24.1
062_3_2	2	422	38.2	88.8	3.8	9.8%	30.7
062_3_3	2	407	38.1	88.9	5.6	9.6%	32.8
062_4_1	2	462	38.1	89.0	2.9	9.7%	35.4
062_4_2	2	443	38.2	88.9	2.1	9.8%	37.7
064_1_1	2	413	38.2	88.8	5.3	9.8%	26.7
064_1_2	2	427	38.2	89.0	4.8	9.7%	24.7
064_1_3	2	421	38.2	88.9	4.3	9.8%	26.7
068_1_1	2	455	38.2	89.0	4.4	10.1%	36.4
068_1_2	2	436	38.2	88.8	3.8	9.8%	31.8
071_1_1	2	406	38.1	89.0	3.4	9.9%	26.6
071_1_2	2	419	38.2	89.0	3.6	9.5%	30.0
071_3	2	484	38.0	88.3	2.8	9.9%	27.9
072_3_1	2	449	38.2	88.7	3.7	9.3%	26.3
072_3_2	2	440	38.2	89.0	4.0	9.4%	23.2

試験体番号	目視等級 甲種	密度 kg/m <sup>3</sup>	<i>b</i> mm	<i>h</i> mm	平均年輪幅 mm	MC %	<i>F<sub>c</sub></i> MPa
072_3_3	2	431	38.1	89.0	4.0	9.5%	31.0
072_3_4	2	461	38.1	89.0	3.5	9.4%	29.4
078_1_1	2	382	38.1	89.0	4.3	9.9%	29.0
078_1_2	2	382	38.2	89.0	4.2	9.8%	28.2
082_1	2	468	38.2	88.8	4.6	10.7%	32.8
085_1_1	2	402	38.2	89.0	5.3	10.4%	24.8
085_1_2	2	448	38.2	89.1	4.3	9.6%	23.3
096_1_1	2	432	38.2	89.0	5.2	10.2%	25.2
096_1_2	2	479	38.1	89.0	5.8	10.6%	27.9
096_1_3	2	422	38.2	88.9	5.0	9.9%	26.8
096_1_4	2	425	38.2	89.0	4.3	9.9%	26.3
096_2_1	2	394	38.2	88.9	4.3	9.3%	29.9
096_2_2	2	398	38.2	89.0	4.3	9.6%	32.2
100_5_1	2	353	38.2	89.0	4.7	10.2%	30.4
100_5_2	2	367	38.2	89.0	5.3	9.2%	27.4
108_1	2	408	38.1	88.8	4.3	9.7%	26.4
109_4_1	2	503	38.2	89.1	5.4	10.6%	32.8
109_4_2	2	481	38.2	89.0	5.1	10.4%	47.0
112_2_1	2	394	38.2	89.1	4.0	9.4%	26.3
112_2_2	2	404	38.2	89.3	3.9	9.6%	26.8
114_1_1	2	391	38.2	89.0	5.4	9.8%	33.4
114_1_2	2	394	38.1	89.0	4.7	9.4%	32.5
120_2_1	2	436	38.2	89.1	3.7	9.4%	20.3
120_2_2	2	415	38.2	89.1	2.9	9.0%	24.6

※*b* : 試験体の短辺長さ, *h* : 試験体の長辺長さ, MC : 全乾法による含水率, *F<sub>c</sub>* : 縦圧縮強さ。

表 3.3.6 縦圧縮試験結果

	<i>b</i> mm	<i>h</i> mm	密度 kg/m <sup>3</sup>	平均年輪幅 mm	MC %	<i>F<sub>c</sub></i> MPa
Max	38.24	89.25	503	7.0	10.7%	47.0
AV	38.16	88.90	421	4.0	9.8%	29.1
Min	37.98	88.27	294	2.1	8.9%	20.3
SD	0.06	0.19	38	1.1	0.4%	4.5
CV	0.1%	0.2%	9.0%	27.9%	4.1%	15.4%
<i>n</i>	63	63	63	63	63	63

※Max : 最大値, AV : 平均値, Min : 最小値, SD : 標準偏差, CV : 変動係数(%), *n* : 試験体数, *b* : 試験体の短辺長さ, *h* : 試験体の長辺長さ, MC : 全乾法による含水率, *F<sub>c</sub>* : 縦圧縮強さ。



写真 3.3.11 圧縮破壊の代表例（材縁部の節）

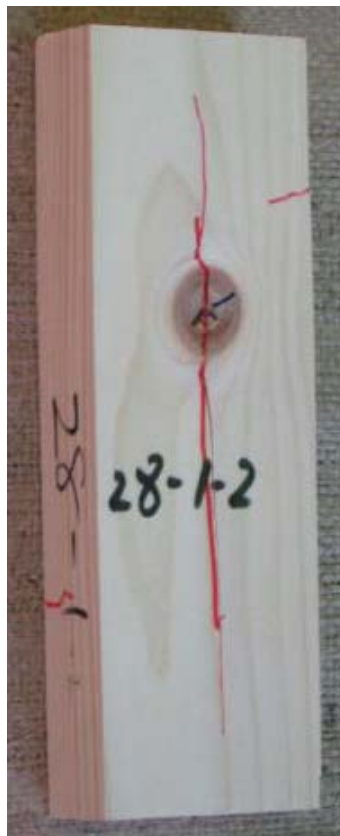


写真 3.3.12 圧縮破壊の代表例（材中央部の節）



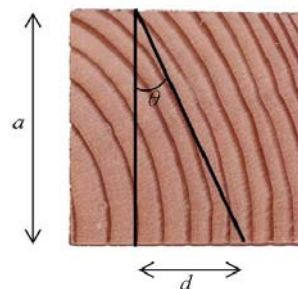


写真 3.3.13 圧縮破壊の代表例（厚さ面の節）

### 3.3.4 むり込み試験

#### 3.3.4.1 試験体

むり込み試験体は60体とした。「枠組壁工法建築物構造計算指針」の「材料および接合部の許容応力度を定める試験・評価方法」では加力面はLT面，LR面のいずれか，または両方とされているが，今回はLT面，LR面加力よりも45°方向のむりこみ強度が低く，安全側となること，中小径材からの生産では年輪の曲率が大きな材の割合が多くなり，断面の中央部ではLT面，LR面加力となったとしても材縁部では外れてくることなどから，供試体の厚さを木口断面の辺長とした38×38×114mmの試験体で試験を行った。また，加力面が任意となった関係上，年輪傾斜角の測定を行った。年輪傾斜角は木口面中央付近の年輪の接線を引き，その角度を測定した(図14)。最初にすべて0~45°の範囲になるように測定し，その半数を90°回転することで，0~45°と45~90°の試験体が均等になるようにした。なお，ここではLR面(T方向)加力を0°，LT面(R方向)加力を90°とした。さらに木表側加力となるものと木裏側加力となるものを均等に割り振った。



$$\theta = \tan^{-1}(d/a)$$

図 3.3.3 年輪傾斜角の測定方法



### 3.3.4.2 試験方法

めり込み試験は、「枠組壁工法建築物構造計算指針」の「材料および接合部の許容応力度を定める試験・評価方法」に準じて行った。試験方法を図 3.3.4 及び写真 3.3.15 に示す。加力は、テンシロン型強度試験機（(株)オリエンテック，RTD-2410，容量 100kN）を用いて行い，試験体の中央上面に加圧鋼板（厚さ 24×幅 38×長さ 100mm，面取りなし）を載せ，それを介して荷重を加えた。めり込み量の計測は，クロスヘッドの下面でひずみゲージ式変位変換器（(株)共和電業，DTA-10，容量 10mm）を用いて行った。試験体の中央 38 mm 区間への片面に収縮量が加力方向の辺長の 5%を超えるまで 0.38 mm/分の速度で加力した。強度試験後に全乾法により試験片の含水率を測定した。試験は，温湿度無調整下の実験棟内で行った。めり込み強さ  $F_{cv}$  は下式により算出した。

$$F_{cv} = \frac{P_{cv}}{l \cdot b}$$

ここで， $F_{cv}$ ：めり込み強さ（N/mm<sup>2</sup>）

$P_{cv}$ ：最大荷重  $P_{max}$  または試験体の収縮量が加力方向の辺長の 5%に達したときの荷重  $P_{0.05h}$  のうち小さな荷重値（N）

$l$ ：荷重の作用面積の長さ，すなわち加圧鋼板の長さ（mm）

$b$ ：試験体の幅（mm）

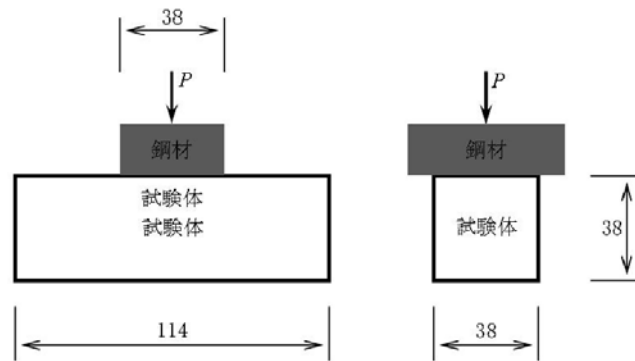


図 3.3.4 めり込み試験体図



写真 3.3.15 めり込み試験方法

### 3.3.4.3 試験結果

めり込み破壊の試験結果を表 3.3.7~3.3.8 に示す。

表 3.3.7 めり込み試験個別データ

試験体番号	密度 kg/m <sup>3</sup>	<i>b</i> mm	<i>h</i> mm	$\theta$ (度)	$F_{cv}$ MPa
09_1	419	38.1	38.0	9.0	6.93
47_4	360	38.2	38.0	11.9	7.06
44_5	372	38.1	38.2	14.7	6.18
39_3	445	38.0	37.7	21.7	7.60
67_3	342	38.2	38.2	26.4	5.14
51_4	448	38.1	38.2	27.7	7.36
56_2	433	38.4	38.1	27.7	7.59
37_2	404	38.1	38.3	28.8	6.76
40_2	359	38.0	38.1	28.9	4.58
40_3	413	38.1	38.3	29.9	6.74
57_3	372	38.2	38.1	30.0	4.81
46_2	433	38.1	38.2	32.1	7.23
37_3	392	38.5	38.0	34.4	6.02
54_1	373	38.1	38.0	34.4	5.76
51_3	413	38.2	38.2	35.3	6.15
05_2	414	37.8	38.3	36.1	7.58
51_2	372	38.2	38.3	36.2	5.10
16_2	384	38.0	38.1	36.3	5.24
27_2	396	38.2	38.1	37.3	5.02
08_3	394	38.2	38.5	38.0	5.60
44_1	467	38.1	38.2	38.1	8.49
39_1	382	38.2	38.1	38.2	5.87
51_1	445	38.1	38.3	39.0	6.88
64_2	384	38.1	38.2	40.0	5.50
52_1	383	38.2	37.8	41.1	4.99
68_4	394	38.1	38.2	42.5	4.84
07_4	341	38.3	38.3	43.3	4.57
40_4	467	38.3	38.1	43.4	6.93
38_4	344	38.3	38.0	43.5	4.80
10_3	505	38.1	37.8	45.2	8.23
20_2	420	38.0	38.3	47.4	5.83
47_1	383	38.3	38.2	47.6	5.77
37_4	360	38.1	38.3	49.1	5.50
22_1	344	38.3	37.9	51.0	5.48
54_2	406	38.0	38.2	51.7	6.50
24_1	392	38.1	38.3	51.8	6.62
21_2	404	38.3	38.2	51.9	5.08
50_2	417	38.0	38.2	52.7	4.68
68_2	383	38.2	38.0	52.8	4.90

試験体番号	密度 kg/m <sup>3</sup>	<i>b</i> mm	<i>h</i> mm	$\theta$ (度)	$F_{cv}$ MPa
51_5	415	38.3	38.2	53.8	6.83
03_1	420	38.4	38.1	53.9	5.73
27_1	379	38.1	38.2	54.6	5.92
04_2	346	38.3	38.2	54.8	4.70
07_1	409	38.0	38.2	55.6	6.12
38_3	427	38.1	35.2	55.7	7.10
02_2	396	38.2	38.1	56.8	7.00
68_3	299	38.0	38.3	57.7	4.31
69_1	447	38.1	38.2	57.8	6.78
57_1	343	38.2	38.2	57.9	6.56
63_2	378	38.1	38.1	58.9	5.57
44_4	328	38.1	38.3	60.0	4.30
63_1	393	38.0	38.1	61.1	5.67
35_2	372	38.2	38.1	61.2	6.38
37_1	401	38.0	38.1	62.2	6.45
67_4	388	38.1	38.1	62.3	5.19
33_1	400	38.5	38.2	62.6	6.16
65_2	365	38.1	38.1	64.7	5.06
67_1	450	38.2	38.1	72.6	8.51
59_1	419	38.0	38.1	78.1	6.01
38_2	361	38.2	38.0	79.6	8.17

※*b*: 試験体の幅, *h*: 試験体の高さ,  $F_{cv}$ : めり込み強さ,  $\theta$ : 年輪傾斜角。

表 3.3.8 めり込み試験結果

	<i>b</i> mm	<i>h</i> mm	密度 kg/m <sup>3</sup>	$F_{cv}$ (MPa)			
				全数	$\theta=0-30$	$\theta=30-60$	$\theta=60-90$
Max	38.51	38.45	505	8.51	7.60	8.49	8.51
AV	38.15	38.09	395	6.07	6.59	5.88	6.40
Min	37.78	35.22	299	4.30	4.58	4.30	5.06
SD	0.13	0.40	38	1.08	1.02	1.04	1.20
CV	0.3%	1.1%	9.6%	17.8%	15.4%	17.6%	18.8%
<i>n</i>	60	60	60	60	10	41	9

※Max: 最大値, AV: 平均値, Min: 最小値, SD: 標準偏差, CV: 変動係数(%), *n*: 試験体数, *b*: 試験体の幅, *h*: 試験体の高さ,  $F_{cv}$ : めり込み強さ,  $\theta$ : 年輪傾斜角。

### 3.3.5 セン断試験

#### 3.3.5.1 試験体

ブロックせん断試験体の形状はイス型とし、寸法は 38×38×53mm とし、せん断面が 38×38mm となるように一部を切り欠いた。試験体は、節などの欠点を含まないように採材した。試験体数は 63 体とした。図 3.3.5 に試験体図を示す。

### 3.3.5.2 試験方法

試験方法は、「枠組壁工法建築物構造計算指針」の「材料および接合部の許容応力度を定める試験・評価方法」に準じて行った。試験方法を写真 3.3.16 に示す。加力は、テンシロン型強度試験機（株）オリエンテック、容量 100kN）を用いて行った。イス型ブロックせん断治具を用いて、試験体に施した切り欠き部に荷重を加え、せん断面でせん断破壊させた。試験体の中央上面に加圧鋼板（24×89×100mm、面取り半径=3mm）を載せ、それを介して荷重を加えた。開始から最大荷重に達するまでの時間はすべての試験体で 1 分以上であった。強度試験後に未破壊部分から試験片を採取して全乾法により含水率を測定した。試験は、温湿度無調整下の実験棟内で行った。

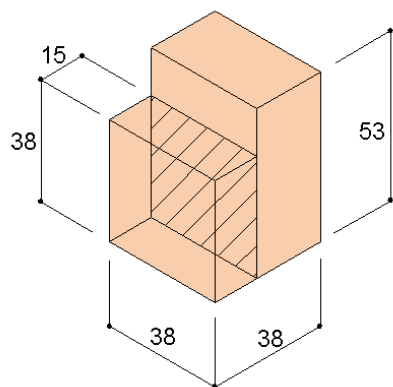


図 3.3.5 せん断試験体図



写真 3.3.16 ブロックせん断試験方法

$$F_s = \frac{P_{\max}}{b \cdot h}$$

次に、最大荷重  $P_{\max}$  からブロックせん断強さ  $F_s$  を下式により算出した。

ここで、 $F_s$ ：ブロックせん断強さ（N/mm<sup>2</sup>）

$P_{\max}$ ：最大荷重（N）

$b$ ：せん断面の幅（mm）

$h$ ：せん断面の高さ（mm）

### 3.3.5.3 試験結果

試験結果を表 3.3.9～3.3.10 に、せん断破壊の代表例を図 3.3.17 に示す。

表 3.3.9 せん断試験個別データ

試験体番号	$b$ mm	$h$ mm	平均年輪幅 mm	木目	$F_s$ MPa
02_2	38.1	38.4	3.4	板目	5.38
33_1	38.4	37.8	2.5	板目	6.28
37_4	38.4	38.5	6.0	板目	6.78
38_2	38.1	38.1	5.5	板目	3.78
44_5	38.3	38.4	2.8	板目	4.87
51_3	38.2	38.7	4.3	板目	6.92
54_1	38.4	38.5	2.7	板目	4.98
64_2	38.2	38.4	7.0	板目	5.44
03_1	38.3	38.5	4.5	追柢	6.02
04_2	38.4	38.0	3.5	追柢	4.97
05_2	38.4	38.2	5.3	追柢	6.86
07_1	38.4	38.2	3.4	追柢	5.97
07_4	38.4	38.8	3.5	追柢	4.89
08_3	38.5	37.9	3.8	追柢	5.35
10_3	38.2	38.6	5.5	追柢	7.07
16_2	38.2	38.5	3.4	追柢	5.09
20_2	38.4	38.6	2.3	追柢	5.37
21_2	38.3	38.4	3.4	追柢	6.39
22_1	38.3	38.1	5.3	追柢	6.38
24_1	38.2	38.5	3.0	追柢	6.98
27_2	38.2	38.4	5.8	追柢	6.40
35_2	38.3	38.8	4.0	追柢	7.34
37_1	38.4	38.3	3.0	追柢	6.74
37_2	38.4	38.7	4.4	追柢	6.85
38_3	38.4	37.9	4.3	追柢	7.03
38_4	38.4	38.1	4.3	追柢	5.74
39_1	38.4	38.1	4.0	追柢	8.00
39_3	38.3	38.5	4.0	追柢	6.38
40_2	38.2	38.5	4.5	追柢	5.21
40_3	38.3	38.7	4.2	追柢	4.59
40_4	38.2	38.4	4.5	追柢	5.88
44_1	38.5	38.8	2.3	追柢	7.26
44_4	38.5	38.2	3.5	追柢	4.83
46_2	38.3	38.4	2.4	追柢	6.77
47_1	38.4	38.4	3.9	追柢	5.88
47_4	38.2	38.4	3.0	追柢	4.71
50_2	38.4	38.0	2.4	追柢	5.55
51_1	38.2	38.3	4.5	追柢	6.57
51_2	38.5	38.1	5.2	追柢	4.83

試験体番号	$b$ mm	$h$ mm	平均年輪幅 mm	木目	$F_s$ MPa
51_4	38.5	38.8	2.0	追柢	5.64
51_5	38.2	38.5	5.0	追柢	6.02
52_1	38.3	38.2	3.8	追柢	5.38
54_2	38.4	38.4	4.3	追柢	6.73
56_2	38.3	38.7	3.0	追柢	4.50
57_3	38.6	38.6	3.3	追柢	5.54
59_1	38.1	38.2	4.6	追柢	5.53
63_1	38.3	38.2	4.7	追柢	5.44
63_2	38.1	38.3	2.9	追柢	5.24
67_1	38.1	38.7	3.4	追柢	7.26
67_4	38.3	38.9	4.4	追柢	5.28
68_2	38.4	38.0	3.7	追柢	5.02
68_3	38.2	38.4	4.0	追柢	4.53
68_4	38.9	38.6	3.7	追柢	4.68
69_1	38.4	38.8	2.0	追柢	5.40
09_1	38.6	38.0	4.0	柢目	5.55
27_1	38.4	38.7	3.0	柢目	6.38
37_3	38.7	38.7	4.9	柢目	6.17
57_1	38.5	38.5	3.1	柢目	5.77
65_2	38.4	38.7	5.8	柢目	6.14
67_3	38.6	38.6	4.3	柢目	3.86

※ $b$ : せん断面の幅,  $h$ : せん断面の高さ,  $F_s$ : ブロックせん断強さ。

表 3.3.11 ブロックせん断試験結果

	$b$ mm	$h$ mm	ARW mm	全数	$F_s$ (MPa)		柢目
					板目	追柢	
Max	38.92	38.93	7.0	8.00	6.92	8.00	6.38
AV	38.41	38.34	3.9	5.81	5.55	5.87	5.65
Min	37.84	38.06	2.0	3.78	3.78	4.50	3.86
SD	0.26	0.15	1.1	0.92	1.06	0.90	0.92
CV	0.7%	0.4%	27.2%	15.8%	19.1%	15.4%	16.4%
$n$	60	60	60	60	8	46	6

※Max: 最大値, AV: 平均値, Min: 最小値, SD: 標準偏差, CV: 変動係数(%),  $n$ : 試験体数,  $b$ : せん断面の幅,  $h$ : せん断面の高さ,  $F_s$ : ブロックせん断強さ。



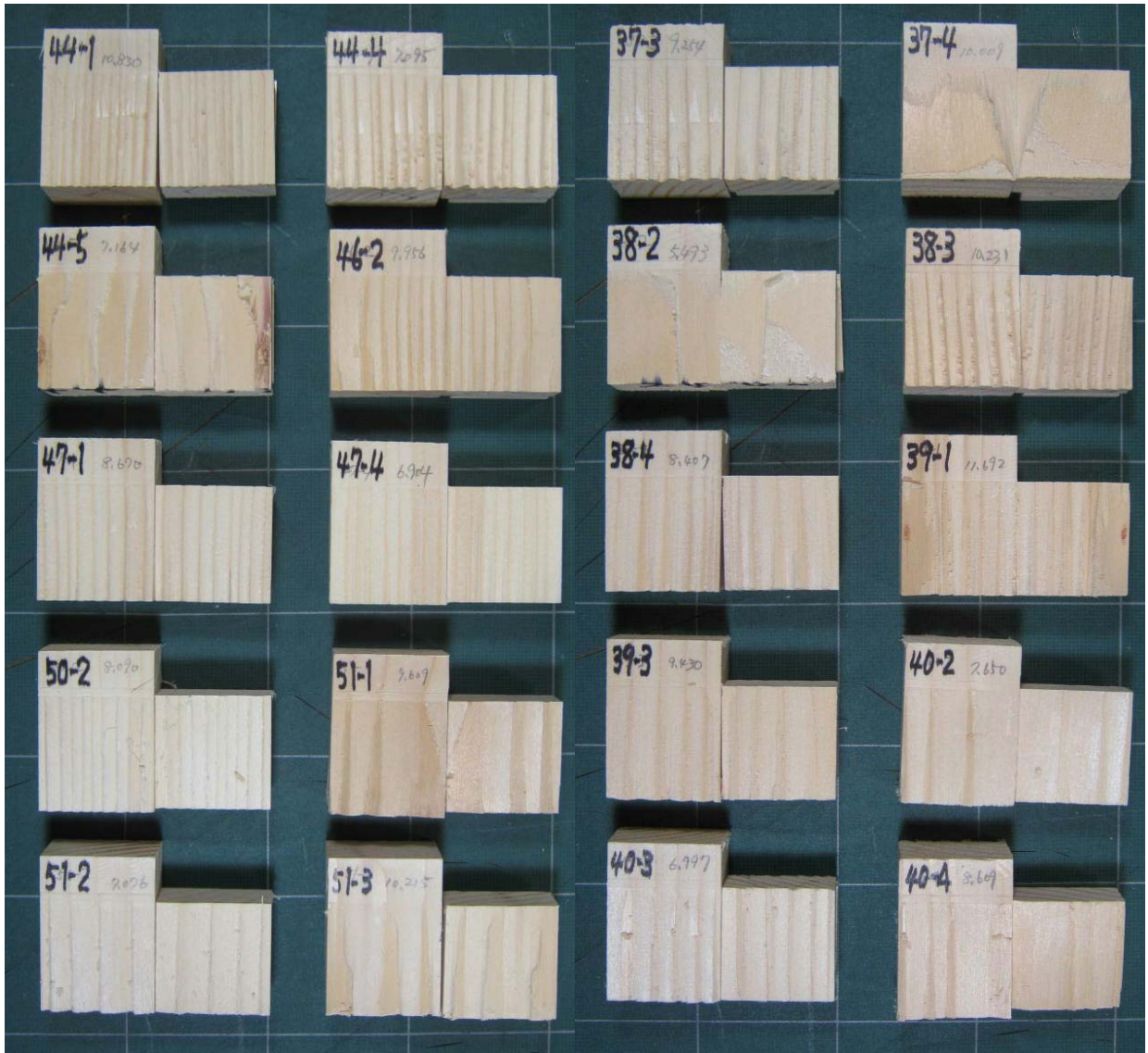


写真 3.3.17 ブロックせん断破壊の代表例

### 3.3.6 せん断弾性係数試験

#### 3.3.6.1 試験体

曲げ試験体 56 体から，打撃法によるヤング係数が偏らないように 10 体を抜き取った。試験体図を図 3.3.6 に示す。

#### 3.3.6.2 試験方法

せん断弾性係数試験は，「枠組壁工法建築物構造計算指針」の「材料および接合部の許容応力度を定める試験・評価方法」に準じて行った。試験方法を図 3.3.6 および写真 3.3.18 に示す。試験はエッジワイズ曲げ試験とした。加力は，インストロン型強度試験機（島津製作所，容量 100kN）を用いて行った。荷重方式は中央集中荷重とした。試験スパン  $L_1$  は，材幅  $h$  に対する比の 2 乗  $(h/L_1)^2$  が 0.035 から 0.0025 の範囲で，ほぼ等間隔になるように選択し，532, 637, 849, 1780mm の 4 条件とした。

支点の支持長さは 100mm とした。スパン中央部のたわみの計測は，支点のめり込みの影響を排除するため，ヨークを用いて行った。ヨークのスパンは各試験スパンと等しくした。中央たわみは試験体の両側面の 2 か所で，ひずみゲージ式変位変換器（株）東京測器，DTA-10・容量 10mm）を用いて計測した。試験は，温湿度無調整下の実験棟内で行った。

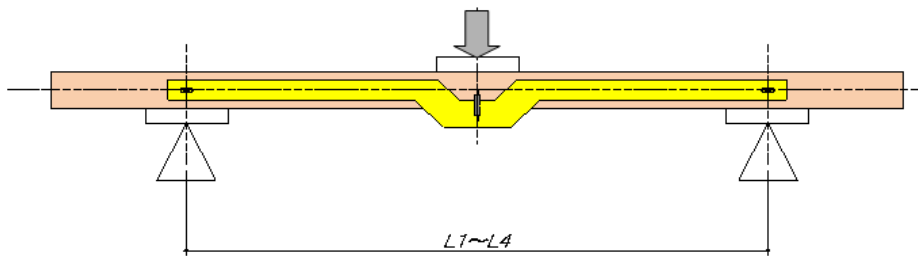


図 3.3.6 せん断弾性係数試験体図



写真 3.3.18 せん断弾性係数測定方法

次に、各スパンにおける見かけのヤング係数  $E_{app}$  を次式により求めた。

$$E_{app} = \frac{P \cdot L_i^3}{48 \cdot \delta \cdot I}$$

ここで、 $E_{app}$  : 見かけの曲げヤング係数 (kN/mm<sup>2</sup>)

$L_i$  : ヨークスパン (mm)

$I$  : 断面二次モーメント (mm<sup>4</sup>)

$P$  : 荷重増分 (N)

$d$  : 荷重増分  $P$  に対応する中央たわみの平均増分 (mm)

次に、各試験体に対して、 $y=1/E_{app}$ 、 $x=(h/L_i)^2$ 、 $y=m+nx$  として、 $y$  と  $x$  の関係を最小二乗法により直線回帰し、真の曲げヤング係数  $E=1/m$ 、せん断弾性係数  $G=1.2/n$  を求めた。

### 3.3.6.3 試験結果

$y$  と  $x$  の関係の代表例を図 3.3.7 に、試験結果を表 3.3.12 に示す。

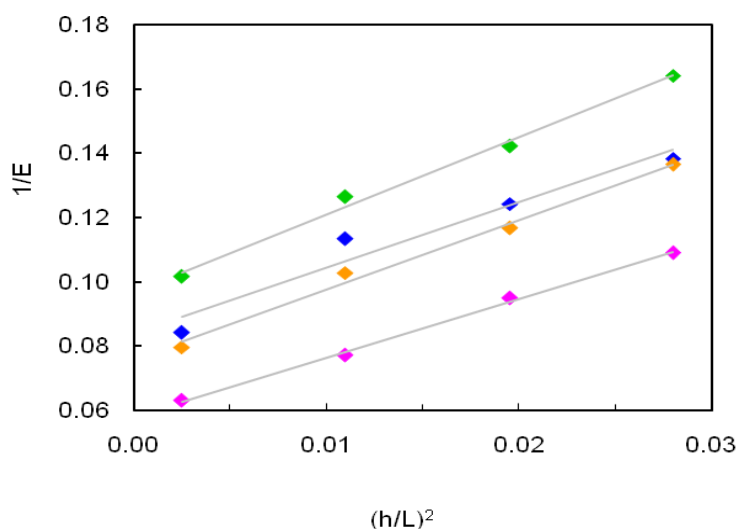


図 3.3.7  $y$  と  $x$  の関係例 (試験体 4 体分)

表 3.3.12 せん断弾性係数の試験結果

	$n$	$m$	$R^2$	$E$ GPa	$G$ GPa	$E/G$
079_3	2.045	0.084	0.927	11.9	0.587	20.2
086_1	2.353	0.095	0.983	10.6	0.510	20.7
089_1	2.473	0.083	0.945	12.1	0.485	24.9
104_3	3.044	0.086	0.980	11.6	0.394	29.5
112_3	2.022	0.073	0.976	13.7	0.593	23.0
116_1	2.280	0.065	0.995	15.3	0.526	29.0
132_3	2.044	0.084	0.950	11.9	0.587	20.3
135_2	1.831	0.058	0.998	17.2	0.656	26.3
143_6	2.168	0.076	0.992	13.2	0.553	23.8
161_2	2.397	0.097	0.993	10.3	0.501	20.6
			AV	12.8	0.539	23.8
			CV	16.8%	13.5%	14.8%

※ $n$ : 回帰式の傾き,  $m$ : 回帰式の切片,  $R^2$ : 回帰式の決定係数,  $E$ : 変動スパン法による曲げヤング係数,  $G$ : 変動スパン法によるせん断弾性係数, AV: 平均値, CV: 変動係数(%)。

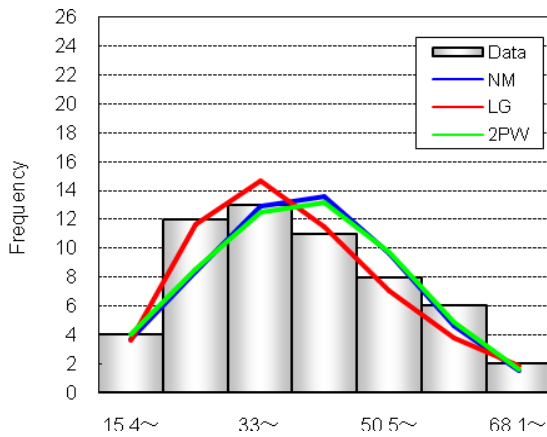
### 3.3.7 力学特性の統計的下限值

各強度試験で得られた力学特性値の統計解析結果を表 3.3.13 に、度数分布と理論分布（全数データを対象に解析）を図 3.3.7 に、統計的下限値のうち、IS013190：2005 で示されているテイルフィット法による下限値を採用した場合の JAS 基準値との比較を表 3.3.14 に示す。

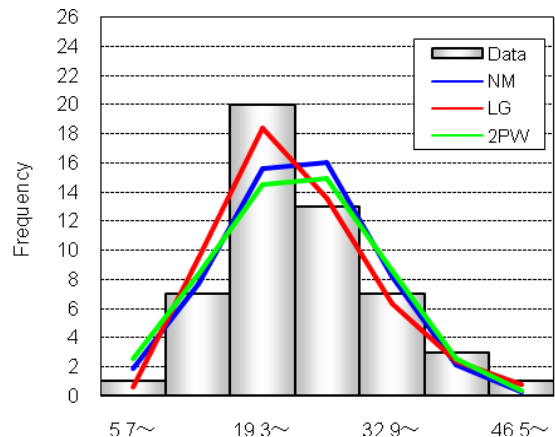
表 3.3.13 力学特性の統計解析結果

	$n$	CV	Max	Av	Min	NM	LG	2PW	NP	TF
$F_b$	56	32.7%	72.5	42.8	19.8	③17.6	①21.7	②18.1	19.9	19.3
$F_t$	52	30.4%	49.8	26.3	9.1	③11.9	①14.4	②11.2	14.0	14.7
$F_c$	63	15.4%	47.0	29.1	20.3	②21.1	①22.2	③16.4	23.1	22.8
$F_{cv}$	60	17.8%	8.5	6.1	4.3	② 4.1	① 4.4	③ 3.8	4.4	4.4
$F_s$	60	15.8%	8.0	5.8	3.8	② 4.2	① 4.3	③ 3.9	4.0	4.4

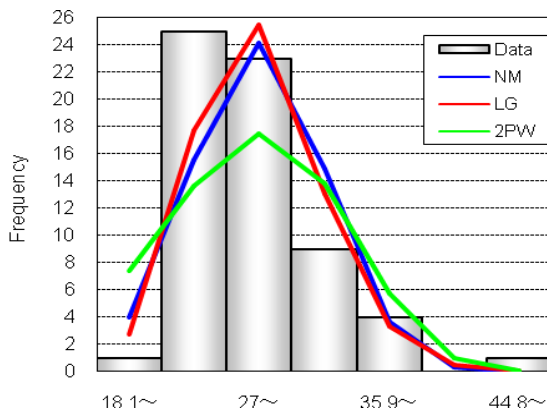
注)  $F_b$ ：曲げ強さ (MPa),  $F_t$ ：引張強さ (MPa),  $F_c$ ：縦圧縮強さ (MPa),  $F_{cv}$ ：めり込み強さ (MPa),  $F_s$ ：ブロックせん断強さ (MPa),  $n$ ：測定数, CV：変動係数, Max：最大値, Av：平均値, Min：最小値, NM：正規分布による 5%下限値, LG：対数正規分布による 5%下限値, 2PW：2 母数ワイブル分布による 5%下限値, TF：テイルフィット法による 5%下限値, 囲み数字：KS 検定の適合順位。



曲げ強さ (MPa)



引張強さ (MPa)



圧縮強さ (MPa)

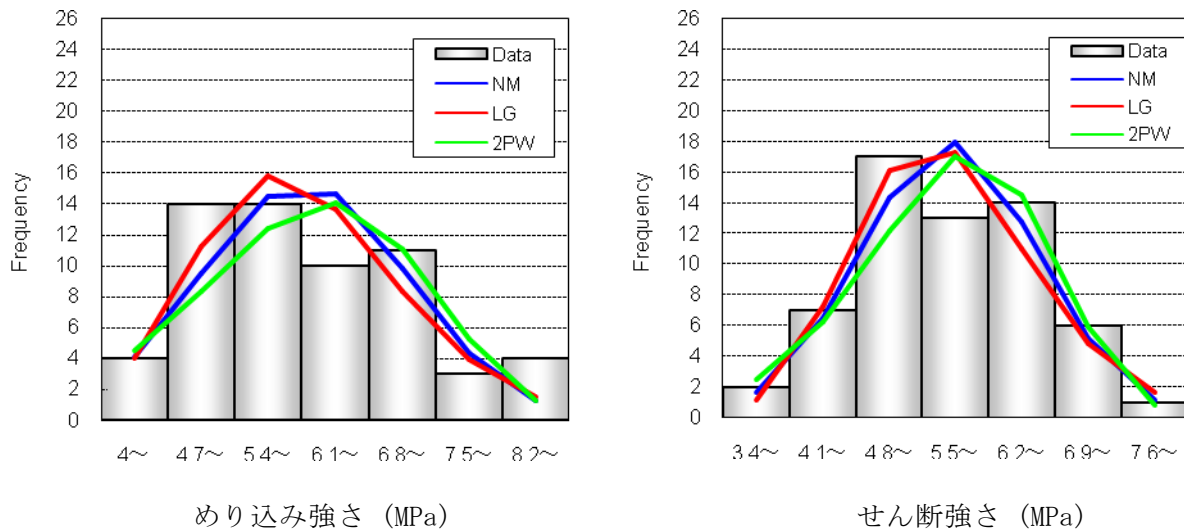


図 3.3.7 力学特性値の度数分布と理論分布

表 3.3.14 統計的下限值と JAS 基準値との比較

		$F_b$	$F_t$	$F_c$	$F_{cv}$	$F_s$	$E_a$
TF	トドマツ204-2級	<b>19.3</b>	<b>14.7</b>	<b>22.8</b>	<b>4.4</b>	<b>4.4</b>	<b>11.3</b>
JAS (SPF)	甲種特級	30.0	16.8	20.4	<b>6.0</b>	<b>1.8</b>	10.5
	甲種1級	22.2	12.0	18.0			10.0
	<u>甲種2級</u>	<b>21.6</b>	<b>11.4</b>	<b>17.4</b>			<b>9.6</b>
	甲種3級	12.6	6.6	10.2			9.3
	乙種C	16.2	8.4	18.6			9.8
	乙種S	9.0	4.8	15.6			8.9
	乙種U	4.2	2.4	10.2			8.3

注)  $F_b$ : 曲げ強さ,  $F_t$ : 引張強さ,  $F_c$ : 縦圧縮強さ,  $F_{cv}$ : めり込み強さ,  $F_s$ : ブロックせん断強さ,  $E_a$ : 曲げヤング係数,  
TF: テイルフィット法による 5% 下限値, SPF: 枠組壁工法構造用製材の JAS の樹種グループ SPF の基準値。

### 3.3.8 考察

材料試験に使用したトドマツは甲種 2 級に格付けしたものであるが、曲げ強さ、めり込み強さにおいて SPF の甲種 2 級の基準を下回る結果となった。

サンプリングにおいて産地は全て同地区で比較的大径木から採取したため材料の性質に偏りがあると考えられる。特に曲げ試験の結果にばらつきが大きい。

本試験結果はサンプリング数が圧倒的に少ないため、トドマツの性質を判断できるものではなく、参考値として留め置きたい。