

合資会社 丸久材木店
筋かい補強金物接合部試験
試験報告書

2011年10月11日（火）

有限会社MOK・MSD

木下 昌也 田畑 勝 小松崎 靖

岐阜県立森林文化アカデミー

木造建築スタジオ

准教授 小原勝彦

目 次

1. 試験概要.....	P1
1. 1 試験一般事項	
1. 2 試験目的	
1. 3 試験方法	
1. 4 加力・計測システム	
1. 5 計測方法	
1. 5. 1 高感度変位計	
1. 5. 2 密度	
1. 5. 3 含水率	
2. 試験結果の処理.....	P5
2. 1 完全弾塑性モデルの作成	
3. 試験結果.....	P6
3. 1 算定方法	
3. 1. 1 接合部の短期基準耐力	
3. 2 短期基準耐力と接合部倍率換算	
3. 3 考察	
4. 供試体仕様、試験結果及び計測データ、包絡線、完全弾塑性モデル、破壊概要.....	P9
4. 1 SANJIKU-A (中柱タイプ)	
4. 2 SANJIKU-B (出隅柱タイプ)	

1. 試験概要

1. 1 試験一般事項

本構造試験の概要について表 1.1.1 に示す。

表 1.1.1 構造試験概要

構造試験の名称	接合部試験
構造試験の申込者の名称 及び住所	合資会社 丸久材木店 岐阜県可児市広見 830 番地の 1
担当者	合資会社 丸久材木店 肥田 茂 様
構造試験責任者	岐阜県立森林文化アカデミー木造建築スタジオ 岐阜県美濃市曾代 88
試験協力者	准教授 小原 勝彦  (有)MOK・MSD 木下 昌也 田畑 勝 小松崎 靖
構造試験実施期間 及び実施場所	実験実施期間：2011 年 9 月 15 日(木)～2011 年 9 月 16 日(金) 岐阜県立森林文化アカデミー木材開放試験室 岐阜県美濃市曾代 88

1. 2 試験目的

SANJIKUを用いた柱脚接合部の構造性能を把握する事が試験目的である。

1. 3 試験方法

接合部を試験機に図 1.3.1 の様に設置し、引張試験により短期基準耐力を求める。試験の方法は、(財)日本住宅・木材技術センターが定める「木造軸組工法住宅の許容応力度設計(2008 年版)」中の「6 章 試験方法と評価方法」における「6.5 継手・仕口接合部試験」に準拠する。

- (1) 試験体は、土台を試験装置に M16 ボルトを用いナットで固定する。
- (2) 試験の加力は柱上辺に M24 ボルトを用いナットで加力機に連結して行う。
- (3) 試験の加力は一方向の繰返し加力(予備試験のみ単調加力)とし、繰返し履歴は、予備試験(単調加力)から得た降伏変位 δ_y の固定数列方式(δ_y の 1/2, 1, 2, 4, 6, 8, 12, 16 倍)とする。
- (4) 加力は最大荷重に達した後、最大荷重の 80%に荷重が低下するまで又は仕口の機能が失われるまで(短ほぞが抜け出す変位; 30mm 以上)を行う



図 1.3.1 試験体設置写真

1. 4 加力・計測システム

加力は加力機のハンドルを用いて制御した。計測荷重及び計測変位をパソコンに取り込み、スイッチボックス (SHW-50D (株) 東京測器製) を中継し、高速自動デジタルひずみ測定器 (THS1100 (株) 東京測器製) で計測し、計測ソフト (TDS/THS-7120 (株) 東京測器製) にて、各部のデータを計測した。また、供試体の随所に設置した変位計で各部の変位を計測し、GP-IB ケーブルを介してパソコンに取り込んだ。

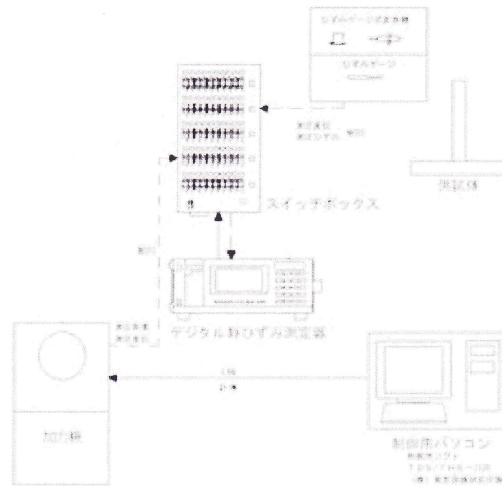


図 1.4.1 加力・計測システム概要図

1. 5 計測方法

本試験で使用した計測センサーは、高感度変位計である。以下に計測方法を示す。

1. 5. 1 高感度変位計 (CDP 型変位計 (株) 東京測器製)

図 1.5.1 に示すように、厚さ 3[mm] のアクリル板で制作した変位計受けに、高感度変位計のピストンをあて、変位計の本体の設置には専用のホルダやマグネットスタンドを用いて、A 点 - B 点間の距離を計測する。計測値の正の値はピストンが伸びる向きである。各部の絶対変位及び相対変位の計測に用いた。

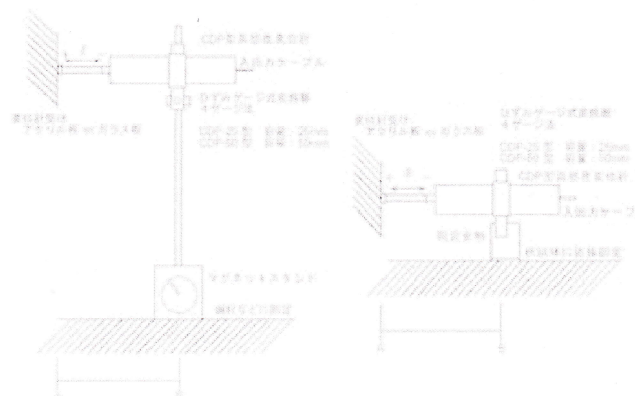


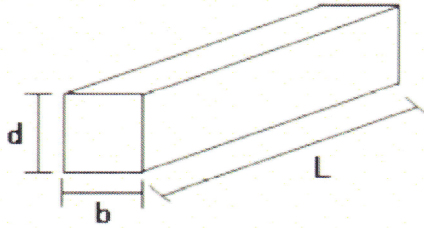
図 1.5.1 高感度変位計設置の方法と計測概要比較

1. 5. 2 密度

部材の幅・成・長さ寸法と重量を測定し、密度を算出する。

$$b \times d \times L = v \text{ (体積) cm}^3$$

$$g \text{ (重量)} / v = \rho \text{ (密度) g/cm}^3$$



1. 5. 3 含水率 (HM-500 (株) ケット科学研究所製)

図 1.5.3 に示すように、一部材につき両端と中央部の 3 箇所に節を避け、木目と平行になるよう含水率計を押し当てて測定を行う。3 箇所で測定した含水率の平均値をその部材の含水率とする。

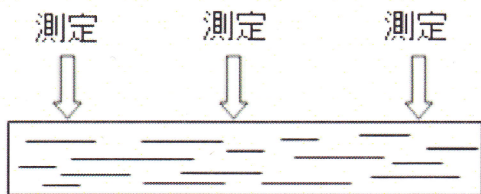


図 1.5.3 含水率計測概要

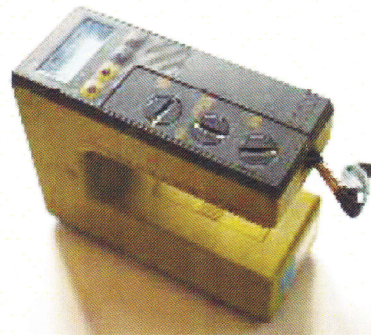


写真 1.5.3 含水率計 HM-500

2. 試験結果の処理

2. 1. 完全弾塑性モデルの作成

試験で得られる荷重－変形関係から求めた包絡線から、以下の手順により完全弾塑性モデルを作成する。

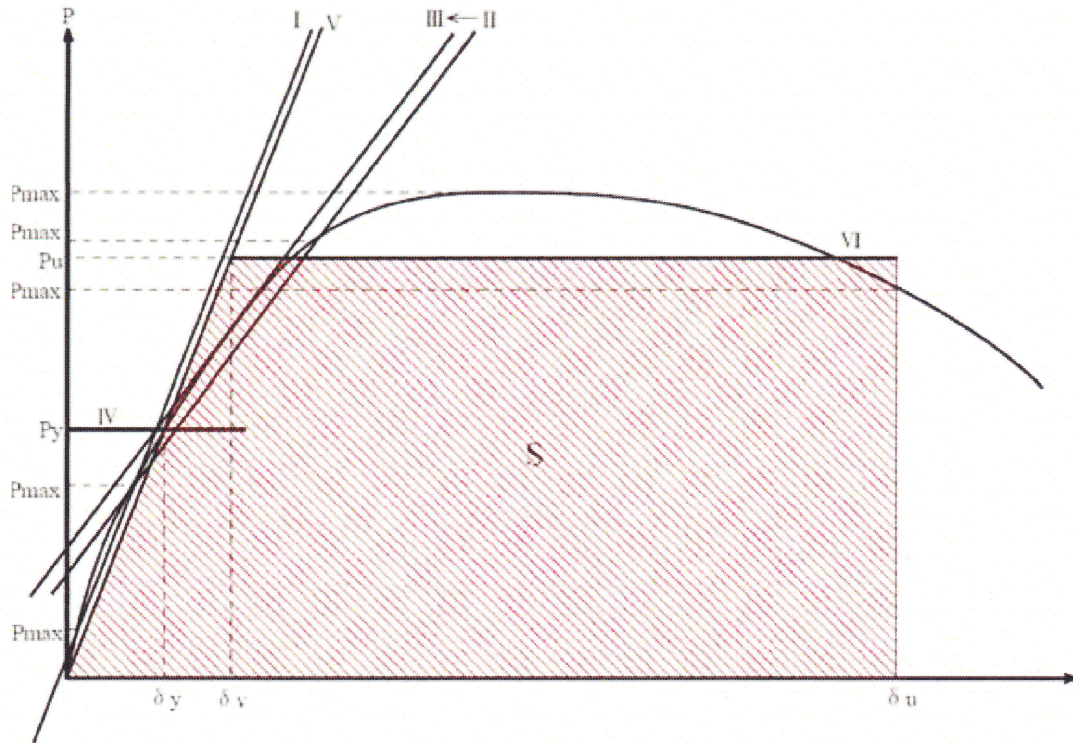


図 2.1.1 完全弾塑性モデルの作成方法

- a) 包絡線上の $0.1P_{max}$ と $0.4P_{max}$ を結ぶ直線を第Ⅰ直線とする。
- b) 包絡線上の $0.4P_{max}$ と $0.9P_{max}$ を結ぶ直線を第Ⅱ直線とする。
- c) 第Ⅱ直線を包絡線に接するまで平行移動し、これを第Ⅲ直線とする。
- d) 第Ⅰ直線と第Ⅲ直線との交点の荷重を降伏耐力 P_y とし、この点から X 軸に平行な直線を第Ⅳ直線とする。
- e) 第Ⅳ直線と包絡線との交点の変位を降伏変位 δ_y とする。
- f) 原点と (δ_y, P_y) を結ぶ直線を第Ⅴ直線として、これを初期剛性 K とする。
- g) 最大荷重後の $0.8P_{max}$ 荷重低下域の包絡線上の変位を終局変位 δ_u とする。
- h) 包絡線、 X 軸及び δ_u で囲まれる面積を S とする。
- i) 第Ⅴ直線、 X 軸、 δ_u 及び X 軸と平行な直線で囲まれる台形の面積が S と等しくなるような X 軸に平行な直線を第Ⅵ直線とする。
- j) 第Ⅴ直線と第Ⅵ直線との交点を完全弾塑性モデルの終局耐力 P_u とし、その時の変位を完全弾塑性モデルの降伏点変位 δ_v とする。
- k) 塑性率(靱性率) $\mu = (\delta_u / \delta_v)$ とする。
- l) 構造特性係数 D_s は塑性率 μ を用い、 $D_s = 1 / \sqrt{2\mu - 1}$ とする。

3. 試験結果

3. 1 算定方法

3. 1. 1 接合部の短期基準耐力

接合部の短期基準耐力 T_o は、荷重－変形曲線に基づき、降伏耐力、最大耐力の観点から評価を行い決定する。

①降伏耐力

試験曲線により求めた降伏耐力 (P_y) の値。降伏耐力の求め方は完全弾塑性モデルによる方法であり、2.1 章「完全弾塑性モデルの作成」による。

試験から得られた包絡線は、終局加力を行った側の荷重－変位曲線より求めたものとする。

②最大耐力

最大荷重を安全率で除した荷重で示す。安全率は通常1.5にとる。従って、 $P_{max}/1.5$ 若しくは $2/3 \cdot P_{max}$ で与えられる。

③接合部の短期基準耐力

接合部の短期基準耐力 T_o は上記①、②で求めた値に、ばらつき係数を乗じ、算出した値のうち最も小さい値とする。ばらつき係数は母集団の分布形を正規分布とみなし、統計的処理に基づく信頼水準75%における95%下限許容限界値をもとに次式により求める。

ばらつき係数 = $1 - (\text{標準偏差} / \text{平均値}) \times \text{定数}K$

④接合部の短期許容耐力

接合部の短期許容耐力 (T_a) は次式により算定する。

$$T_a = T_o \times \alpha$$

T_o : 実験値により決定された接合部の短期基準耐力

α : 耐力に影響を及ぼす係数で、耐力壁の構成材料の耐久性・使用環境の影響、施工性の影響、許容応力度設計の前提条件を満たさない場合の影響等を勘案して定める係数。長期許容耐力を算定する場合には上記 T_a に1.1/2を乗じるものとする。

(詳細は、木造軸組工法住宅の許容応力度設計(2008年度版)の第6章試験方法と評価方法を参照)

※本試験では、 α を適切に算出できないため、 $T_a=T_o$ として算定を行うものとする

※(財)日本住宅・木材技術センターでは $\alpha=0.75$ 程度を目安としている

⑤接合部の倍率の決定方法

接合部の倍率 n は接合部の短期基準耐力から、次式により算出する。

※本試験は $T_a=T_o$ として扱う

$$n = T_o[\text{kN}] \times (1/1.96[\text{kN}]) \times (1/2.73[\text{m}])$$

3. 2 短期基準耐力と接合部倍率換算

短期基準耐力と接合部倍率換算は、前項の計算方法により評価した。表3.2.1 にAタイプにおける各試験体の算定結果、表3.2.2 にBタイプにおける各試験体の算定結果について示す。

- ①包絡線は荷重－変位関係より、履歴の最大荷重を結んで作成する。
- ②上記の包絡線より完全弾塑性モデルによる降伏耐力、降伏変位、終局耐力、終局変位を求める。
- ③接合部倍率換算とは、短期基準耐力より算定している値を示す。

表 3.2.1 S A N J I K U - Aにおける各試験体の短期基準耐力と接合部倍率換算の一覧

試験実施日	2011/9/15～16	2011/9/15～16	2011/9/15～16	2011/9/15～16	2011/9/15～16	2011/9/15～16	2011/9/15～16
試験体記号	A-0	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6
接合部試験方法	引張試験(予備試験)	引張試験	引張試験	引張試験	引張試験	引張試験	引張試験
最大耐力 Pmax(kN)	13.10	12.28	14.35	17.29	15.39	11.46	16.34
最大荷重時変位 δ_{pmax} (mm)	15.83	21.78	22.19	29.76	24.50	19.32	29.40
降伏耐力 Py(kN)	7.04	5.88	7.58	9.11	8.44	5.35	8.42
降伏変位 δ_y (mm)	2.10	1.57	1.79	4.15	3.15	2.67	3.57
終局耐力 Pu(kN)	12.03	11.20	13.09	15.38	14.07	10.14	14.20
終局変位 δ_u (mm)	29.36	29.83	29.98	29.76	29.67	29.81	29.40
降伏点変位 δ_v (mm)	3.59	2.99	3.09	7.00	5.26	5.07	6.02
剛性 K(MN/mm)	3.35	3.75	4.23	2.20	2.68	2.00	2.36
塑性率 μ	8.17	9.97	9.70	4.25	5.64	5.87	4.88
構造特性係数 Ds	0.25	0.22	0.23	0.36	0.31	0.30	0.33
Pu(0.2/Ds) (kN)	9.62	10.18	11.38	8.54	9.07	6.76	8.60
2/3Pmax (kN)	8.73	8.18	9.57	11.52	10.26	7.64	10.89
終局時破壊モード	金物の変形 土台の割れ 釘、コーチボルト の引き抜け	金物の変形 土台の割れ 釘、コーチボルト の引き抜け	金物の変形 土台の割れ 釘、コーチボルト の引き抜け	金物の変形 土台の割れ 釘の引き抜け	金物の変形 土台の割れ 釘、コーチボルト の引き抜け	金物の変形 土台の割れ 釘、コーチボルト の引き抜け	金物の変形 土台の割れ 釘、コーチボルト の引き抜け
決定因子	Py	Py	Py	Py	Py	Py	Py
短期基準耐力 (kN)	7.04	5.88	7.58	9.11	8.44	5.35	8.42
ばらつき係数	1	1	1	1	1	1	1
試験環境、材料、 施工上による 低減係数	1	1	1	1	1	1	1
接合部倍率換算	1.32	1.10	1.43	1.71	1.59	1.00	1.58

ばらつき評価					
試験荷重と50%下限値	荷重平均値	標準偏差	K:n=6	ばらつき係数	95%下限値
降伏耐力 Py (kN)	7.46	1.52	2.336	0.52	3.91
2/3Pmax (kN)	9.68	1.52	2.336	0.63	6.12
短期基準耐力 T_o (kN)	3.91				
決定因子	Py				
試験環境、材料、施工 上による低減係数	1.00				
短期許容耐力 T_a (kN)	3.91				
長期許容耐力 (kN)	2.15				
接合部倍率換算	0.74				

表 3.2.2 S A N J I K U - Bにおける各試験体の短期基準耐力と接合部倍率換算の一覧

試験実施日	2011/9/15~16	2011/9/15~16	2011/9/15~16	2011/9/15~16	2011/9/15~16	2011/9/15~16	2011/9/15~16
試験体記号	B-0	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	B-6
接合部試験方法	引張試験(予備試験)	引張試験	引張試験	引張試験	引張試験	引張試験	引張試験
最大耐力 Pmax(kN)	17.55	12.34	11.48	17.74	12.59	11.04	13.75
最大荷重時変位 δ_{pmax} (mm)	25.19	19.75	16.02	29.06	28.31	15.19	15.70
降伏耐力 Py(kN)	9.15	6.63	6.61	9.11	7.15	6.13	6.76
降伏変位 δ_y (mm)	2.86	2.71	2.39	3.90	3.24	1.45	1.95
終局耐力 Pu(kN)	15.18	11.43	10.41	15.50	11.39	10.03	12.22
終局変位 δ_u (mm)	29.96	29.64	29.90	29.06	29.73	29.75	29.95
降伏点変位 δ_v (mm)	4.75	4.67	3.77	6.64	5.17	2.37	3.53
剛性 K(MN/mm)	3.20	2.45	2.77	2.34	2.21	4.23	3.47
塑性率 μ	6.30	6.34	7.93	4.37	5.75	12.55	8.48
構造特性係数 Ds	0.29	0.29	0.25	0.35	0.30	0.20	0.25
Pu(0.2/Ds) (kN)	10.46	7.88	8.32	8.85	7.59	10.03	9.77
2/3Pmax (kN)	11.70	8.23	7.65	11.83	8.39	7.36	9.17
終局時破壊モード	金物の変形 釘の引き抜け	金物の変形 釘、コーチボルト の引き抜け	金物の変形 土台の割れ 釘、コーチボルト の引き抜け	金物の変形 土台の割れ 釘の引き抜け	金物の変形 土台の割れ 釘の引き抜け	金物の変形 土台の割れ 釘、コーチボルト の引き抜け	金物の変形 土台の割れ 釘、コーチボルト の引き抜け
決定因子	Py	Py	Py	Py	Py	Py	Py
短期基準耐力 (kN)	9.15	6.63	6.61	9.11	7.15	6.13	6.76
ばらつき係数	1	1	1	1	1	1	1
試験環境, 材料, 施工上 による低減係数	1	1	1	1	1	1	1
接合部倍率換算	1.72	1.25	1.24	1.71	1.34	1.15	1.27

ばらつき評価					
試験荷重と50%下限値	荷重平均値	標準偏差	K:n=6	ばらつき係数	95%下限値
降伏耐力 Py (kN)	7.07	1.05	2.336	0.65	4.60
2/3Pmax (kN)	8.77	1.62	2.336	0.57	4.98
短期基準耐力 T ₀ (kN)	4.60				
決定因子	Py				
試験環境, 材料, 施工 上による低減係数	1.00				
短期許容耐力 T _a (kN)	4.60				
長期許容耐力 (kN)	2.53				
接合部倍率換算	0.87				

3. 3 考察

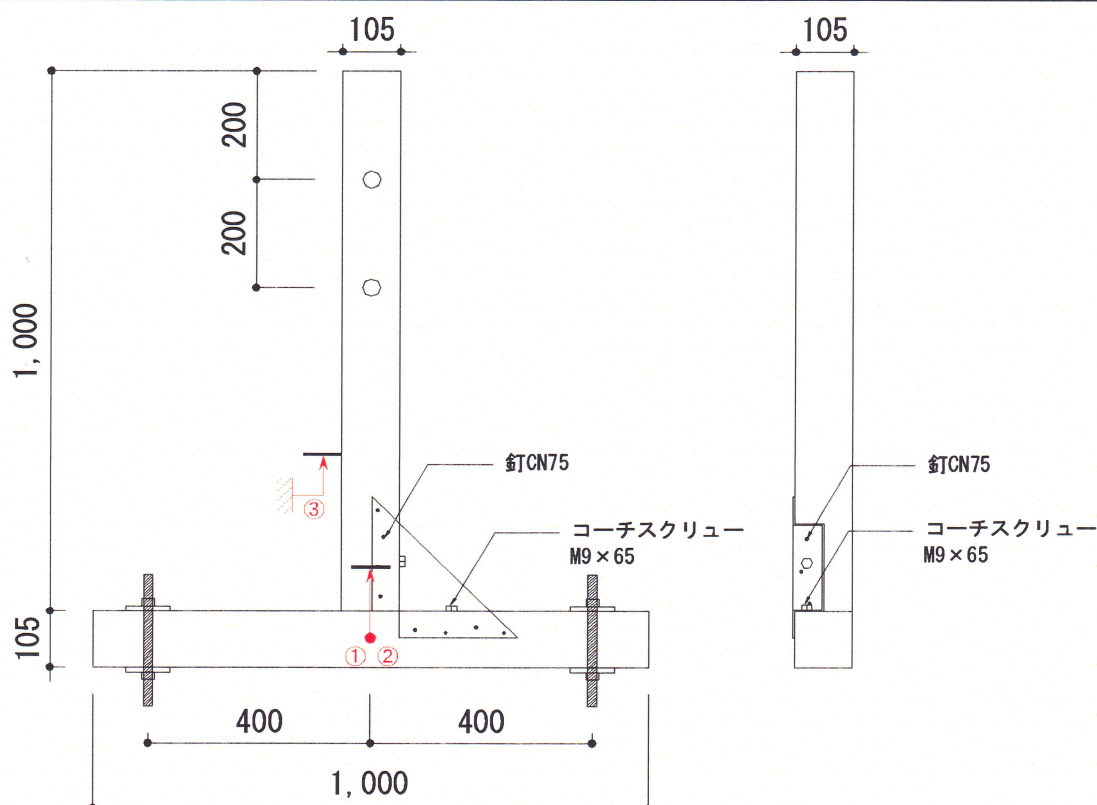
S A N J I K U - Aの短期基準耐力は5.88kNから9.11kNであり、いずれもPyで基準耐力が決まっている。S A N J I K U - Bの短期基準耐力は6.13kNから9.11kNであり、いずれもPyで基準耐力が決まっている。また、S A N J I K U - A、S A N J I K U - Bのどちらもばらつきが大きく、平均値の値より5割から6割程度低い値となった。

4. 試験体仕様、計測データ、破壊概要及び試験結果

4. 1. SANJIKU-A (中柱タイプ)

SANJIKU-A (中柱タイプ) の仕様を以下に示す。

試験体仕様	試験体タイプ	接合部仕様
試験体	SANJIKU-A (中柱タイプ)	筋かい金物
試験日	2011/9/15~16	



部材	樹種
柱	スギ
土台	スギ

変位計①、②(表、裏)は土台一柱の相対変位
変位計③は柱の絶対変位

密度、含水率、及び樹種

試験体名	部材	密度			含水率				樹種
		体積(cm ³)	重量(kg)	密度(g/cm ³)	測定値1(%)	測定値2(%)	測定値3(%)	平均(%)	
A-0	柱	11145.0	5.33	0.48	29.5	27.0	21.5	26.0	スギ
	土台	10905.0	5.11	0.47	23.0	20.5	20.0	21.2	スギ
A-1	柱	11145.0	5.09	0.46	32.5	29.0	26.5	29.3	スギ
	土台	10905.0	5.16	0.47	21.0	21.5	20.5	21.0	スギ
A-2	柱	11145.0	4.51	0.40	20.5	22.5	20.5	21.2	スギ
	土台	10905.0	5.47	0.50	22.0	18.5	10.0	16.8	スギ
A-3	柱	11145.0	4.86	0.44	22.5	23.0	17.0	20.8	スギ
	土台	10905.0	5.25	0.48	25.0	21.0	21.0	22.3	スギ
A-4	柱	11145.0	4.72	0.42	21.0	25.0	24.5	23.5	スギ
	土台	10905.0	5.18	0.48	19.5	19.0	17.5	18.7	スギ
A-5	柱	11145.0	4.45	0.40	15.0	15.5	13.5	14.7	スギ
	土台	10905.0	4.52	0.41	22.5	18.5	20.0	20.3	スギ
A-6	柱	11145.0	4.40	0.39	13.0	14.5	18.0	15.2	スギ
	土台	10905.0	5.04	0.46	19.5	25.0	17.0	20.5	スギ

A-1の計測データを以下に示す。

計測データ	試験体名	接合部仕様
試験体	A-1	筋かい金物
気温(°C)	32.0°C	
湿度(%)	38%	

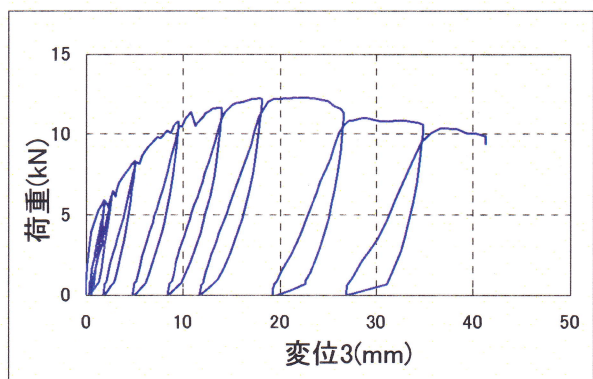
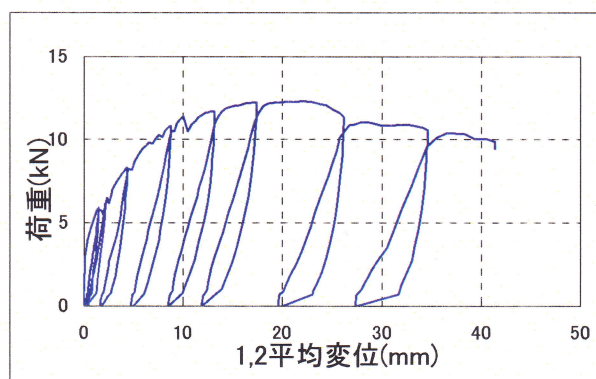
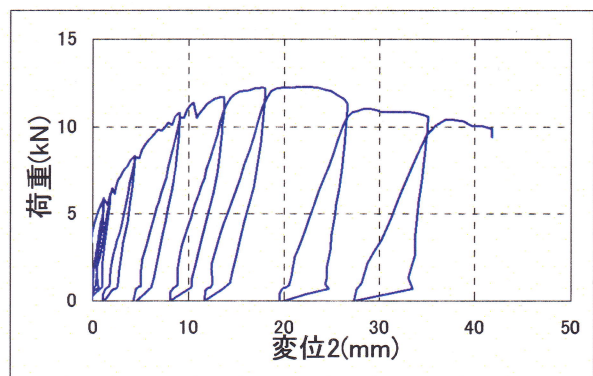
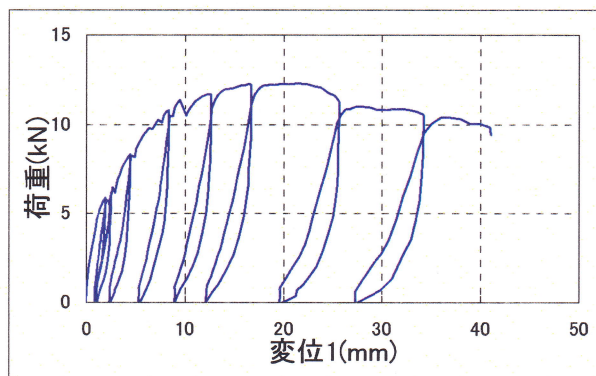
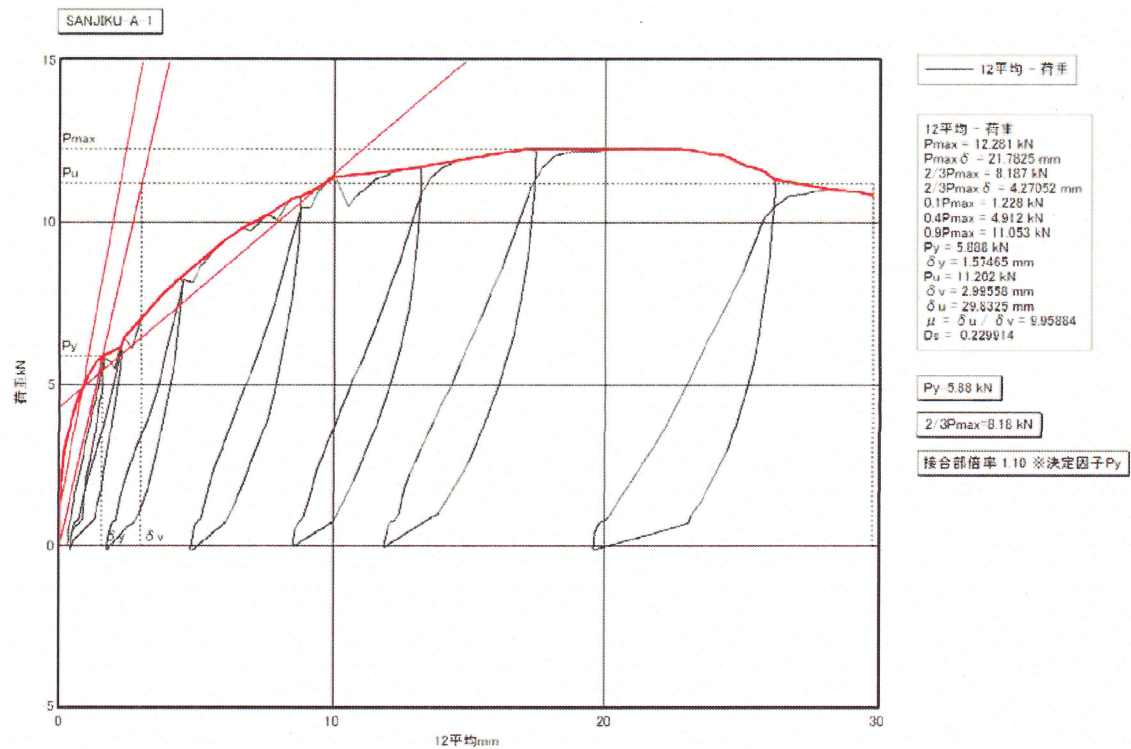


写真 A-1の破壊概要

写真1 (試験体全体 試験开始前)



写真5 (試験体全体 試験終了後)



写真2 (接合部 試験开始前)

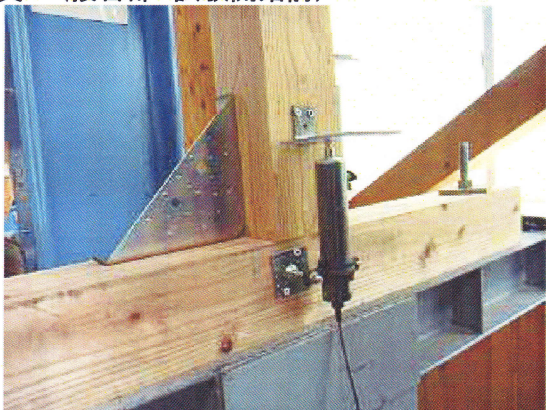


写真6 (接合部 試験終了後)



写真3 (接合部 試験开始前)



写真7 (接合部 試験終了後)



写真4 (接合部 試験开始前)



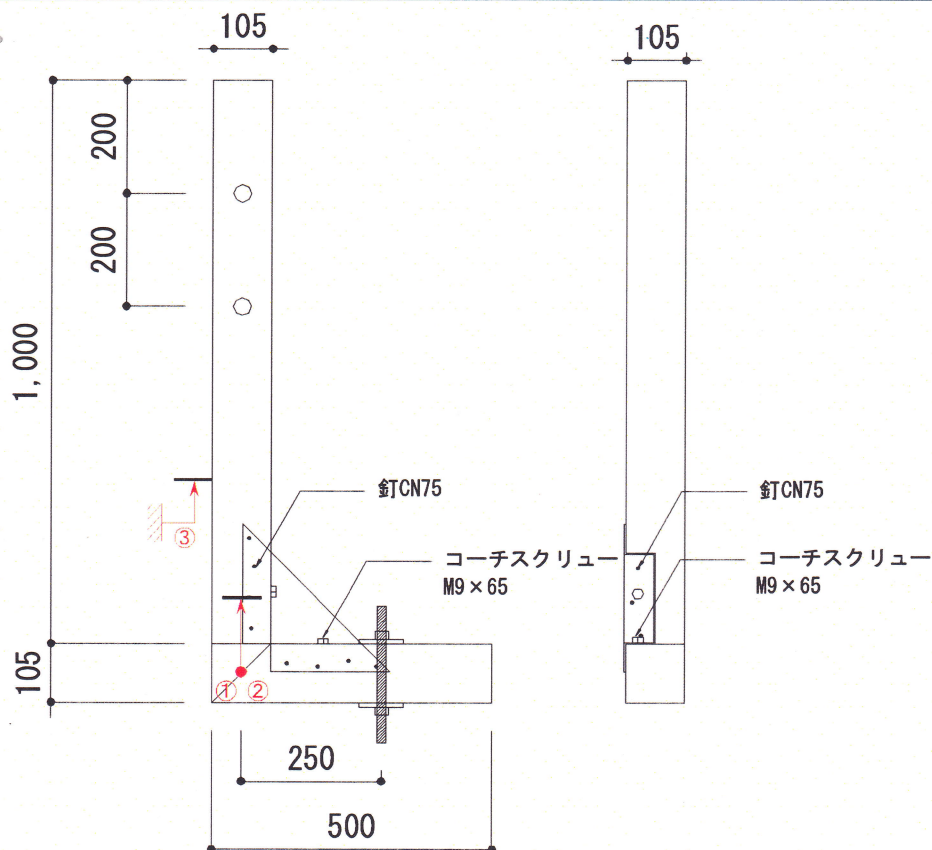
写真8 (接合部 試験終了後)



4. 2. SANJIKU-B（出隅柱タイプ）

SANJIKU-B（出隅柱タイプ）の仕様を以下に示す。

試験体仕様	試験体タイプ	接合部使用
試験体	SANJIKU-B（出隅柱タイプ）	筋かい金物
試験日	2011/9/15～16	



部材	樹種
柱	スギ
土台	スギ

変位計①、②（表、裏）は土台－柱の相対変位
変位計③は柱の絶対変位

密度、含水率、及びヤング係数

試験体名	部材	密度			含水率				樹種
		体積(cm ³)	重量(kg)	密度(g/cm ³)	測定値1(%)	測定値2(%)	測定値3(%)	平均(%)	
B-0	柱	11145.0	5.58	0.50	25.0	29.5	30.5	28.3	スギ
	土台	5392.5	2.59	0.48	17.0	19.5	14.0	16.8	スギ
B-1	柱	11145.0	4.55	0.41	21.0	16.0	17.0	18.0	スギ
	土台	5392.5	2.30	0.43	15.0	18.5	22.0	18.5	スギ
B-2	柱	11145.0	4.37	0.39	18.0	19.5	23.0	20.2	スギ
	土台	5392.5	2.11	0.39	16.0	18.0	16.0	16.7	スギ
B-3	柱	11145.0	4.27	0.38	16.5	16.5	19.0	17.3	スギ
	土台	5392.5	2.59	0.48	20.0	19.0	18.0	19.0	スギ
B-4	柱	11145.0	4.91	0.44	17.5	19.5	20.0	19.0	スギ
	土台	5392.5	2.07	0.38	16.5	18.0	17.5	17.3	スギ
B-5	柱	11145.0	4.89	0.44	29.5	28.5	22.5	26.8	スギ
	土台	5392.5	2.15	0.40	16.5	15.5	16.0	16.0	スギ
B-6	柱	11145.0	4.82	0.43	15.5	18.0	18.5	17.3	スギ
	土台	5392.5	2.56	0.47	20.5	22.5	20.5	21.2	スギ

B-1の計測データを以下に示す。

計測データ	試験体名	接合部仕様
試験体	B-1	筋かい金物
気温(°C)	29.9°C	
湿度(%)	52%	

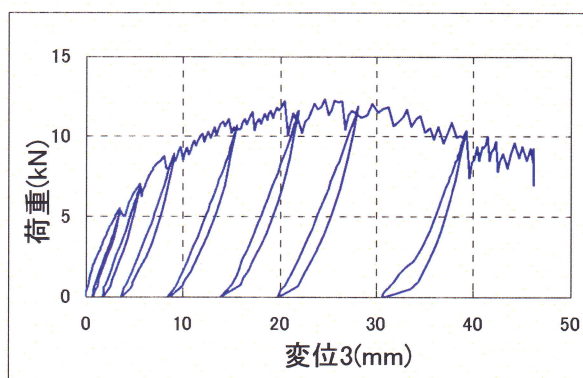
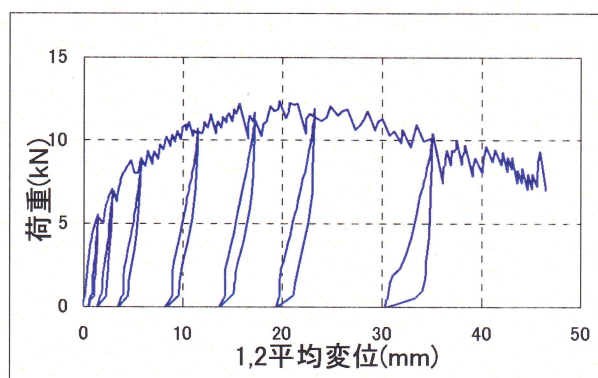
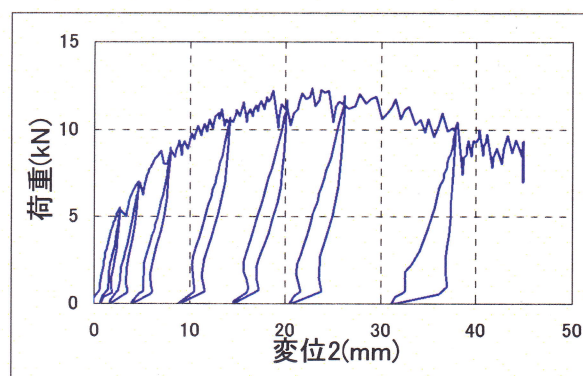
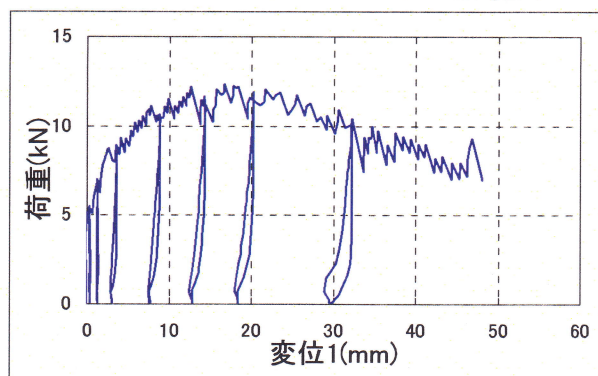
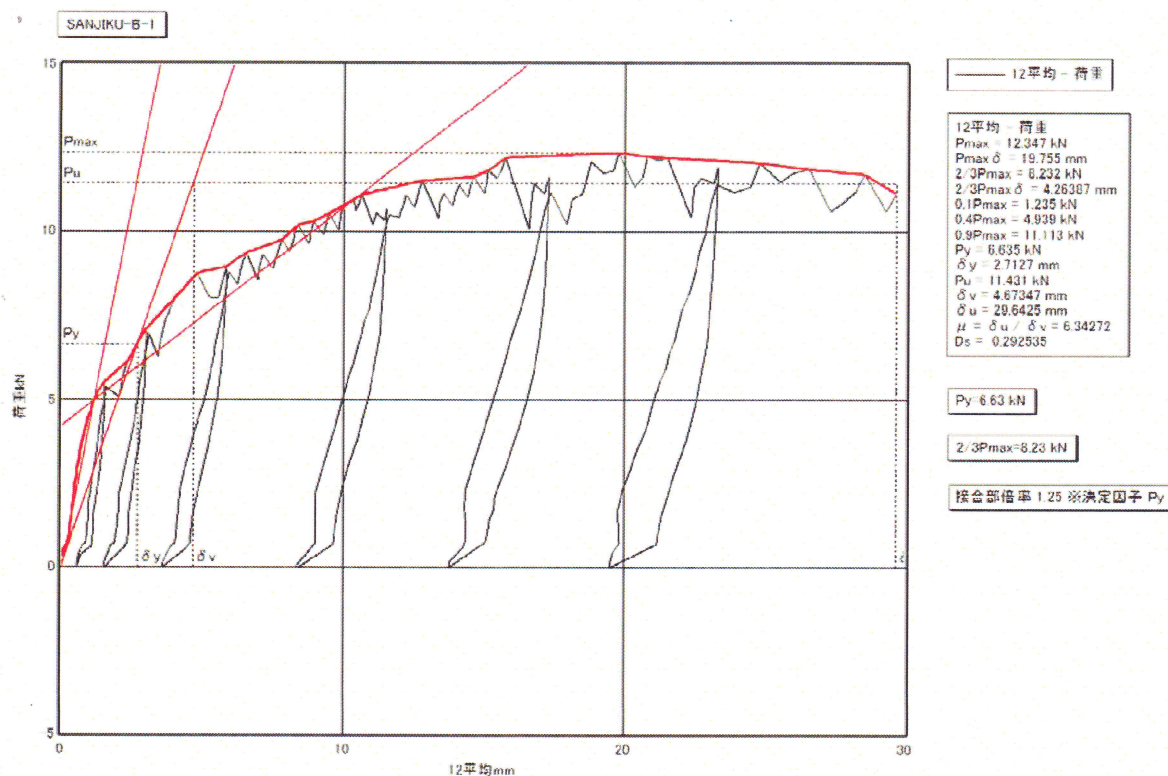


写真 B-1の破壊概要

写真1 (試験体全体 試験開始前)



写真5 (試験体全体 試験終了後)



写真2 (接合部 試験開始前)



写真6 (接合部 試験終了後)



写真3 (接合部 試験開始前)



写真7 (接合部 試験終了後)



写真4 (接合部 試験開始前)

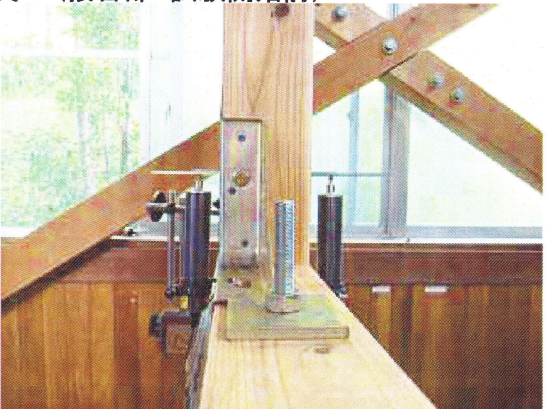


写真8 (接合部 試験終了後)

