

合資会社 丸久材木店
筋かい補強金物耐力壁構面試験
試験報告書

2010年04月28日(水)

有限会社MOK・MSD

木下 昌也 福本 満夫 田畑 勝

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	P 1
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 巻込型変位計	
2 . 試験結果の処理	P 5
2 . 1 完全弾塑性モデルの作成	
3 . 試験結果	P 6
3 . 1 算定方法	
3 . 1 . 1 鉛直構面の短期基準せん断耐力	
3 . 2 短期基準せん断耐力と壁倍率換算及び壁強さ倍率換算	
3 . 3 考察	
4 . 供試体仕様、計測データ、破壊概要及び試験結果	P 8
4 . 1 S A N J I K U - 1	
4 . 2 S A N J I K U - 2	
4 . 3 S A N J I K U - 3	

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	筋かい補強金物耐力壁構面試験
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 8 3 0 番地の 1
担当者	合資会社 丸久材木店 専務 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 8 8
試験協力者	講師 小原 勝彦 (有)MOK・MSD 木下 昌也 福本 満夫 田畑 勝
構造試験実施期間及び実施場所	実験実施期間：2010 年 4 月 12 日(月) 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 8 8

1.2 試験目的

SANJIKUを用いた筋かい耐力壁の構造性能を確認することが本試験の目的である。

1.3 試験方法

鉛直構面を鉄骨基礎に図 1.3.1 の様に設置し、アクチュエータ型加力機を用いて鉛直構面の短期基準せん断耐力を求める。

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」中の「2章 木造軸組工法住宅の各部要素の試験方法と評価方法」に準拠する。試験はタイロッド式で行う。

(1) 供試体は、土台を試験装置に 2-M16 ボルトを用いナットで固定する。同時に土台左右両端部に土台水平移動固定金物のベースを 2-M24 ボルトを用いナットで固定する。

(2) 荷重の加力は頂部梁左端部に引き寄せ金物を配置し、それらを 2-M16 ボルトを用いナットで加力機に連結して行う。

(3) 荷重載荷の繰り返しは、見かけの変形制御で、1/600、1/450、1/300、1/200、1/150、1/100、1/75、1/50rad. 破壊までの正負交番とする。

(4) 繰り返し加力は同ステップで 3 回とする。但し、最終サイクルでは、正側(引張方向)に単調加力とする。

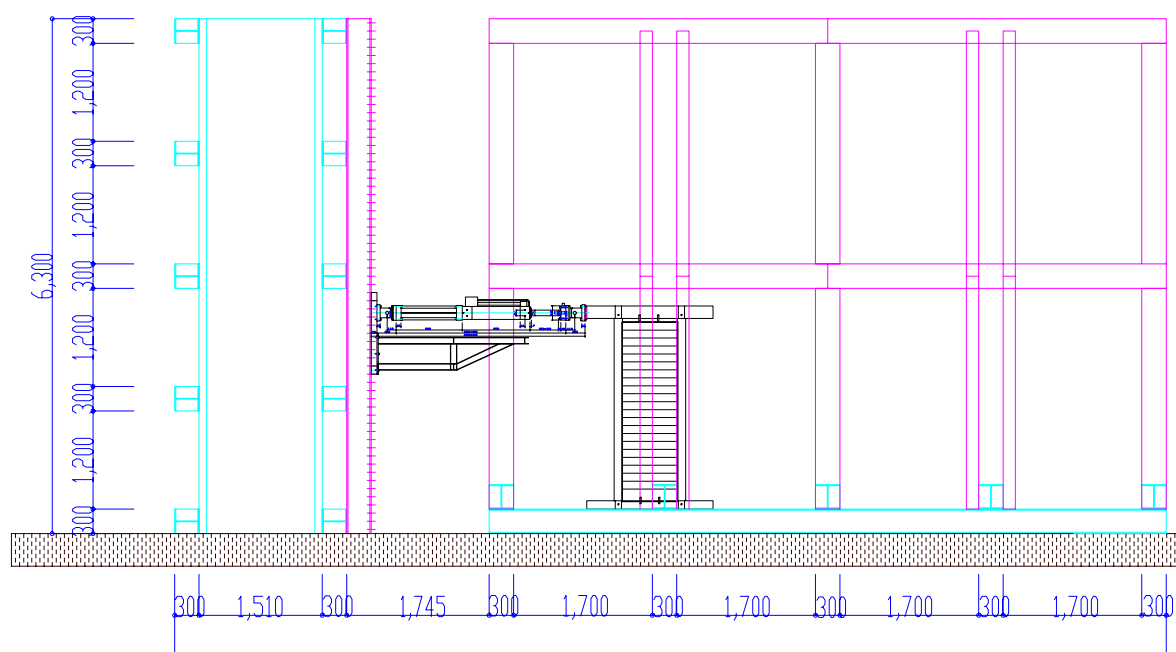


図 1.3.1 供試体設置位置立面図

1.4 加力・計測システム

電気油圧式サーボ機構型加力機（島津サーボパルサーEHF-JM100kN-110L形（株）島津製作所製）の加力制御はパソコンを用い、制御ソフト（GLUON（株）島津製作所製）にて制御した。計測荷重及び計測変位をLANケーブルにより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）で計測した。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。

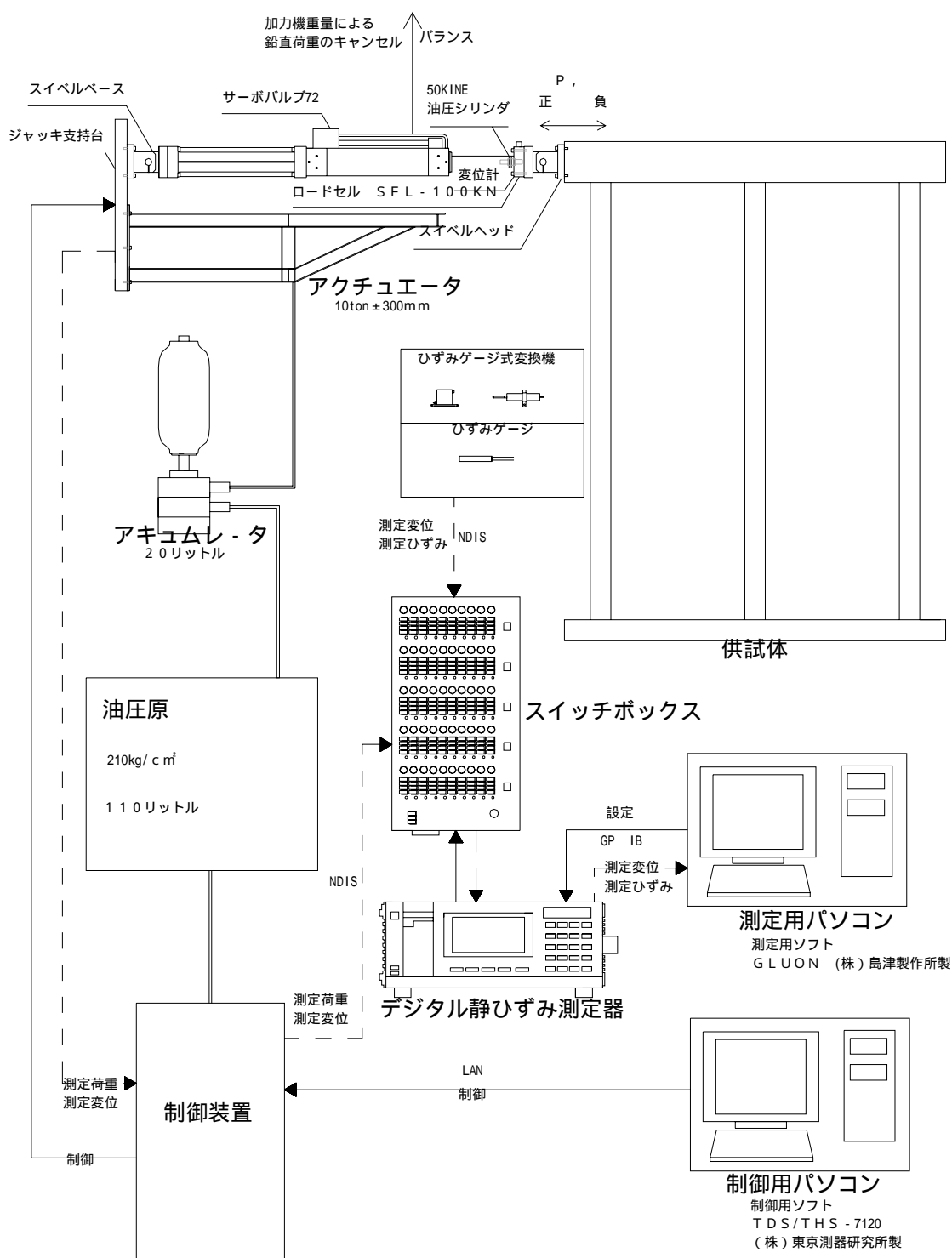


図 1.4.1 加力・計測システム概要図

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、巻込型変位計である。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 1.4.1 に示すように、厚さ 3[mm]の亚克力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。

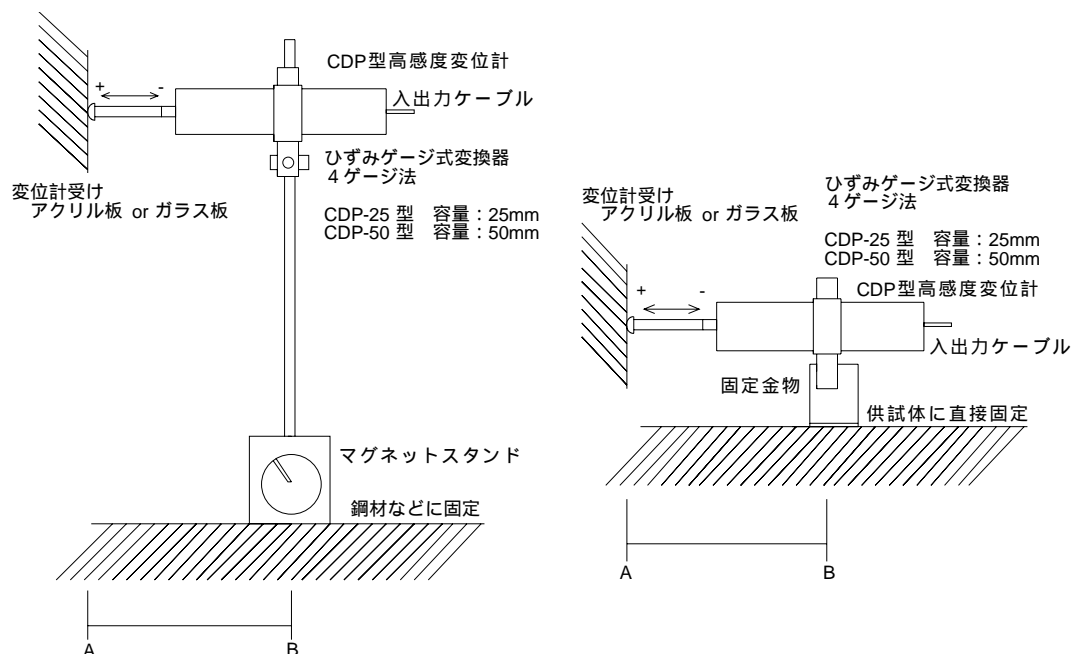


図 1.5.1 高感度変位計設置の方法と計測概要比較

1.5.2 巻込型変位計 ((株)東京測器製)

図 1.4.2 に示すように、フックを供試体に設置し、変形形のワイヤーの先端を取り付けて、A 点 - B 点間の距離を計測する。計測値の正の値はワイヤーが伸びる向きである。頂部水平変位及び中間部水平変位の計測に用いた。

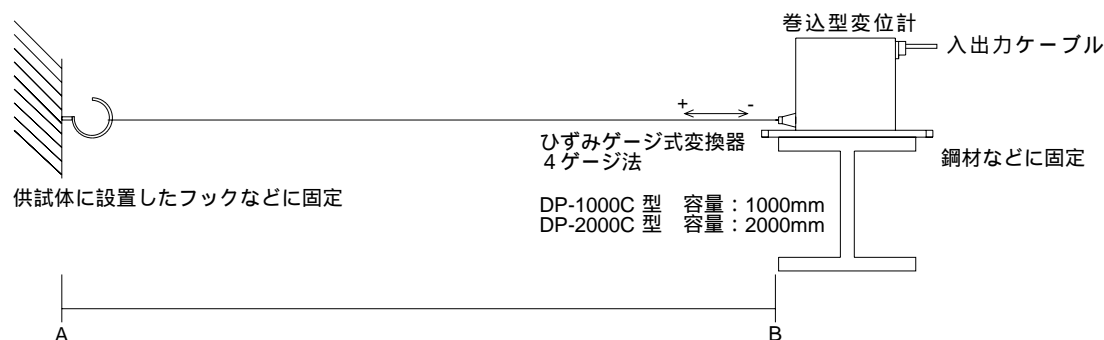


図 1.5.2 高感度変位計設置の方法と計測概要

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。

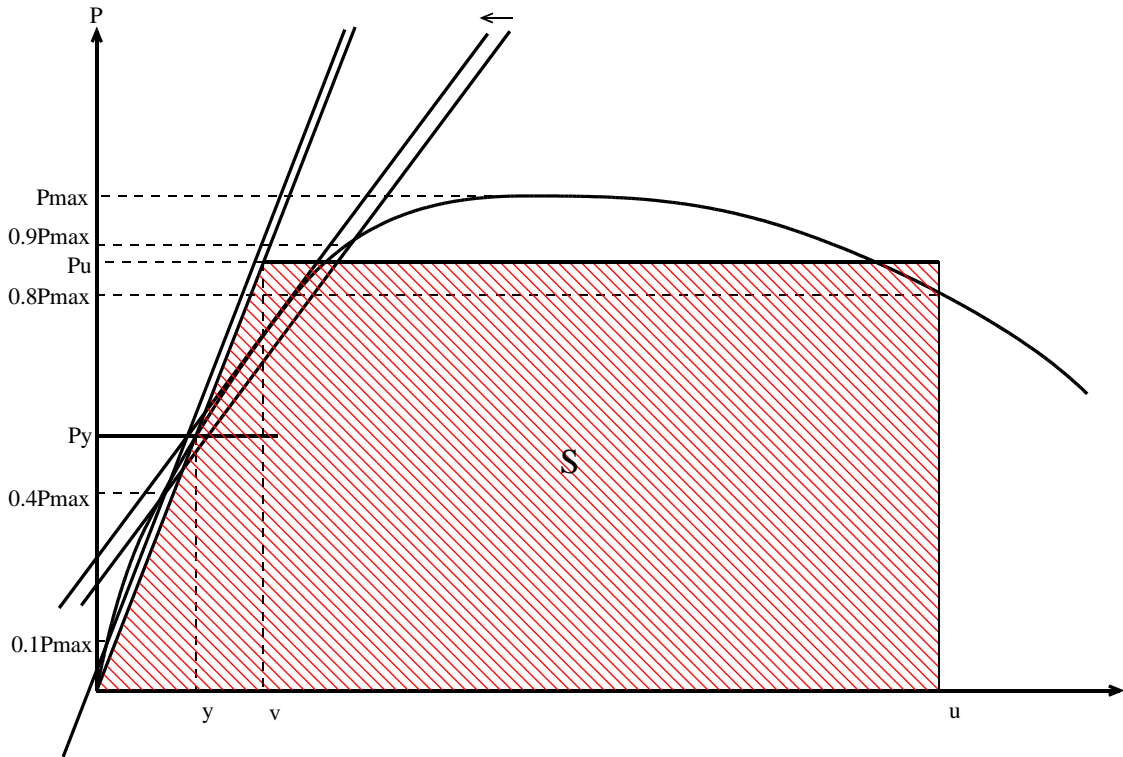


図 2.1.1 完全弾塑性モデルの作成方法

- 包絡線上の $0.1P_{max}$ と $0.4P_{max}$ を結ぶ直線を第 1 直線とする。
- 包絡線上の $0.4P_{max}$ と $0.9P_{max}$ を結ぶ直線を第 2 直線とする。
- 第 1 直線を包絡線に接するまで平行移動し、これを第 3 直線とする。
- 第 3 直線と第 2 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 4 直線とする。
- 第 3 直線と包絡線との交点の変位を降伏変位 y とする。
- 原点と (y, P_y) を結ぶ直線を第 5 直線として、これを初期剛性 K とする。
- 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 u とする。
- 包絡線、X 軸及び u で囲まれる面積を S とする。
- 第 5 直線、X 軸、 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 6 直線とする。
- 第 5 直線と第 6 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 v とする。
- 塑性率(靱性率) $\mu = (u / v)$ とする。
- 構造特性係数 D_s は塑性率 μ を用い、 $D_s = 1 / (2\mu - 1)$ とする。

3 . 試験結果

3 . 1 算定方法

3 . 1 . 1 耐力壁の短期基準せん断耐力

耐力壁の短期基準せん断耐力 P_o は、荷重 - 変形曲線に基づき、剛性、最大耐力、靱性、エネルギーの観点から評価を行い決定する。

剛性

耐力壁のせん断変形角が基準変形に達したときの荷重で示す。

柱脚固定式 : 見かけのせん断変形角 1/120rad.時の荷重(P_{120})

タイロッド式 : 真のせん断変形角 1/150rad.時の荷重(P_{150})

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、5.1.2 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。

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。

終局耐力、エネルギー

壁量計算、許容応力度計算は中地震時(許容応力度レベル)について建物の安全性について検討する方法であり、必ずしも大地震時の挙動について保証しているわけではない。そこで、 D_s (構造特性係数)を利用して、大地震時について建物の安全性について間接的に保証する方法として、エネルギーから求めた荷重で示す。

$$0.2 \quad 2 \mu - 1 \cdot P_u \quad \text{若しくは} \quad (0.2/D_s) \cdot P_u$$

耐力壁の短期基準せん断耐力

耐力壁の短期基準せん断耐力 P_o は上記 ~ でそれぞれ求めた値に、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 50% 下限許容限界値をもとに次式により求める。

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

耐力壁の許容せん断耐力

耐力壁の許容せん断耐力(P_a)は次式により算定する。

$$P_a = P_o \times$$

P_o : 実験値により決定された短期基準せん断耐力

: 耐力に影響を及ぼす係数で、鉛直構面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

(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、によるを適切に算出できないため、 $P_a=P_o$ 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 ≈ 0.75 程度を目安としている

耐力壁の倍率の決定方法

耐力壁の倍率 n は耐力壁の短期基準せん断耐力から、次式により算出する。

本試験は $P_a=P_o$ として扱う

$$n = P_o[kN] \times (1/1.96[kN]) \times (1/L[m])$$

3.2 短期基準せん断耐力と壁倍率及び壁強さ倍率換算

短期基準せん断耐力と壁倍率及び壁強さ倍率換算は、前項の計算方法により評価した。表 4.2.1 に各供試体の算定結果について示す。

包絡線は荷重 - 真のせん断変形関係より、履歴の最大荷重を結んで作成する。

上記の包絡線より完全弾塑性モデルによる降伏耐力、降伏変形角、終局耐力、終局変形角を求める。

壁倍率換算とは、短期基準せん断耐力より算定している値を示す。

表 3.2.1 各供試体の短期基準せん断耐力と壁倍率及び壁強さ倍率換算の一覧

試験体記号	SANJIKU-1	SANJIKU-2	SANJIKU-3
面内せん断試験方法	タイロッド式	タイロッド式	タイロッド式
最大耐力 Pmax(kN)	17.70	15.60	18.51
降伏耐力 Py(kN)	11.44	9.20	11.15
降伏変形角 $v(10^{-3}\text{rad})$	9.36	6.86	11.15
終局耐力 Pu(kN)	16.57	14.28	16.85
終局変形角 $u(10^{-3}\text{rad})$	47.5	59.7	47.3
降伏点変形角 $v(10^{-3}\text{rad})$	13.56	10.66	12.61
剛性 $K(\text{MN}/10^{-3}\text{rad})$	1.22	1.34	1.00
塑性率 μ	3.50	5.60	3.75
構造特性係数 Ds	0.41	0.31	0.39
Pu(0.2/Ds) (kN)	8.12	9.12	8.59
2/3Pmax (kN)	11.80	10.40	12.34
真P _{1/150rad} (kN)	8.93	9.07	9.66
実壁長(m)	0.91	0.91	0.91
決定因子			
短期基準せん断耐力 (kN)	8.12	9.07	8.59
短期基準せん断耐力 (kN/m)	8.93	9.97	9.44
ばらつき係数	1	1	1
壁倍率換算	4.55	5.09	4.82
壁強さ倍率算定	8.93	9.97	9.44

ばらつき評価					
試験荷重と50%下限値	試験荷重平均値	標準偏差	K	ばらつき係数	50%下限値
降伏耐力 Pv(kN)	10.60	1.22	0.471	0.95	10.02
Pu(0.2/Ds) (kN/実長m)	8.61	0.50	0.471	0.97	8.38
2/3Pmax (kN)	11.51	1.00	0.471	0.96	11.04
真P _{1/150rad} (kN)	9.22	0.39	0.471	0.98	9.04
短期基準せん断耐力 (kN)				8.38	
短期基準せん断耐力 (kN/m)				9.20	
壁倍率換算				4.70	
壁強さ倍率換算				9.20	

3.3 考察

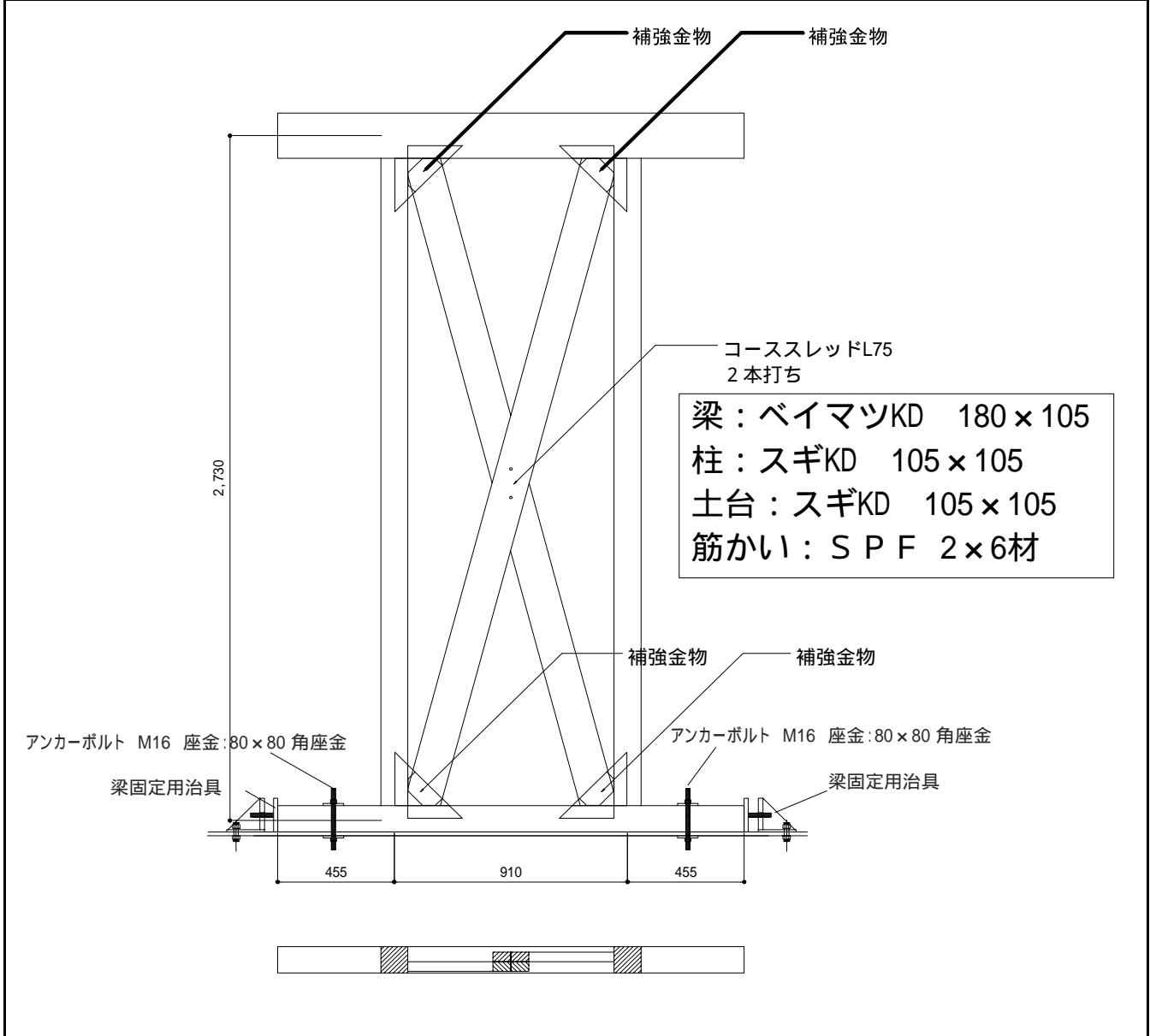
壁倍率は、4.55～5.09となり、壁強さ倍率は、8.93～9.97となった。SANJIKU-1,3はPu(0.2/DS)で倍率が決まっており、SANJIKU-2は真のP1/150rad.で倍率が決まっている。ばらつきを評価した壁倍率は、4.70となり、3体の平均値より若干下まわっている。ばらつきを評価した壁強さ倍率は、9.20となり、3体の平均値より若干下まわっている結果となった。

4 . 供試体仕様、計測データ、破壊概要及び試験結果

4 . 1 . 供試体 S A N J I K U - 1

供試体 S A N J I K U - 1 の仕様を以下に示す。

供試体仕様	供試体名	構面仕様
供試体	SANJIKU-1	筋かいたすぎがけ
試験日	2010年4月12日(月)	
気温()	17	
湿度(%)	77	



密度、含水率、及びヤング係数

部材	密度			含水率				ヤング係数 (Gpa)
	体積(cm ³)	重量(g)	密度(g/cm ³)	測定値1(%)	測定値2(%)	測定値3(%)	平均(%)	
梁	-	-	-	20.00	20.50	22.00	20.83	-
柱	-	-	-	19.50	19.50	19.50	19.50	-
柱	-	-	-	16.00	14.00	19.50	16.50	-
土台	-	-	-	22.50	24.50	21.00	22.67	-
筋かい	-	-	-	23.00	24.50	21.00	22.83	-
筋かい	-	-	-	25.50	20.50	19.50	21.83	-

供試体SANJIKU-1の計測データを以下に示す。

計測データ	供試体名	構面仕様
供試体	SANJIKU-1	筋かいたすぎがけ
<p>図 3.1. 1. 加力機ストローク</p>		
<p>図 3.1. 2. 頂部水平変位</p>		
<p>図 3.1. 3. 脚部水平変位</p>		
<p>図 3.1. 4. 左柱脚浮き上がり変位</p>		
<p>図 3.1. 5. 右柱脚浮き上がり変位</p>		

写真

SANJIKU- 1 の破壊状況

写真1 (試験体正面 試験開始前)



写真2 (1/150rad 引き)



写真3 (1/100rad 引き)



写真4 (1/75rad 引き)



写真5 (1/50rad 引き)



写真6 (最終 引き)



写真7 (最終 引き)



写真8 (最終 引き)



写真

SANJIKU- 1 の破壊状況

写真9 (最終 引き)



写真10 (最終 引き)



写真11 (最終 引き)



写真12 (最終 引き)



写真13 (最終 引き)



写真14 (最終 引き)



写真15 (最終 引き)

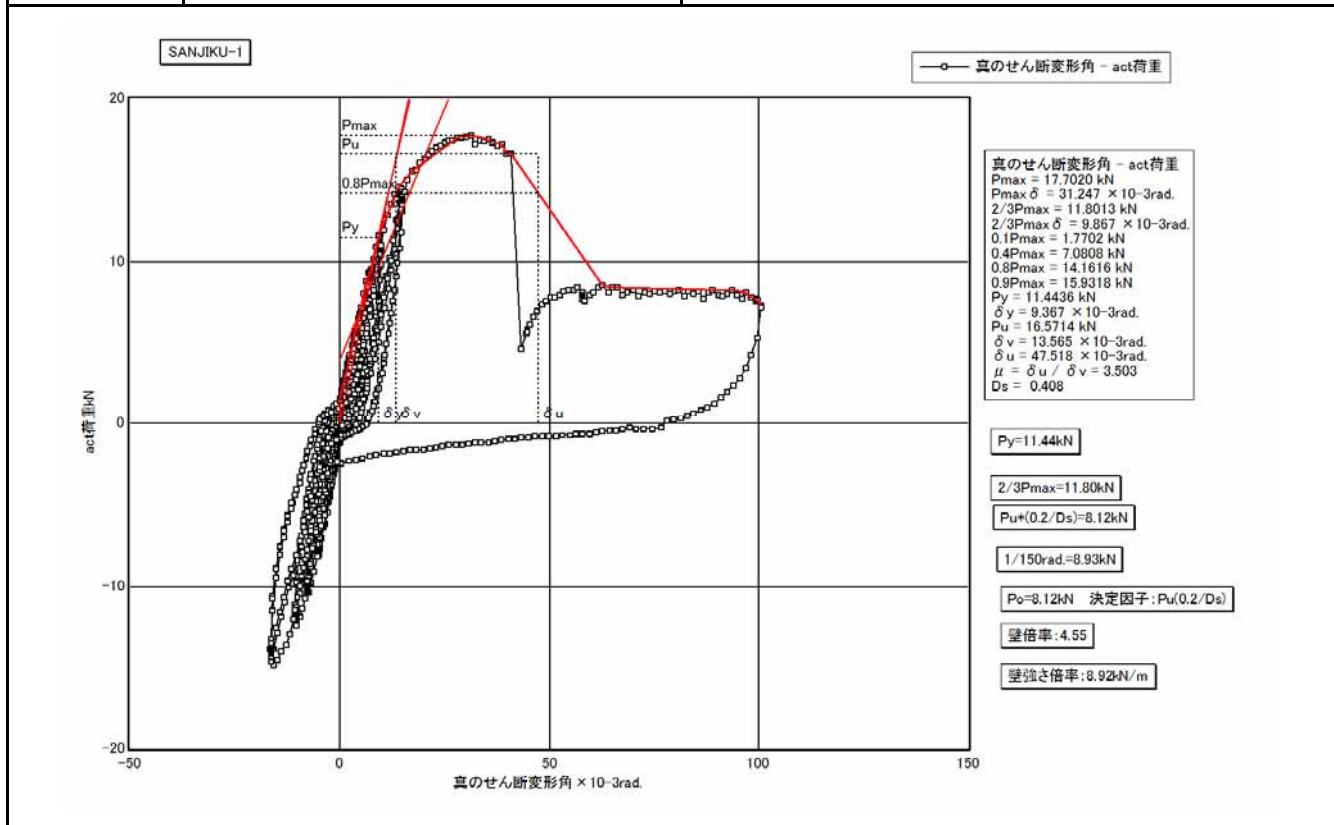


写真16 (最終 引き)



供試体SANJIKU-1の包絡線、完全弾塑性モデル及び破壊概要を以下に示す。

試験結果	供試体名	構面仕様
供試体	SANJIKU-1	筋かいたすぎがけ



供試体名	降伏耐力Py (kN)	Pmax × 2/3 (kN)	Pu(0.2/Ds) (kN)	特定変形角 1/150rad.時 (kN)	終局耐力Pu (kN)	最大耐力 Pmax (kN)	最大耐力時 変形角 (× 10 ⁻³ rad.)
SANJIKU-1	11.44	11.80	8.12	8.93	16.57	17.70	31.24

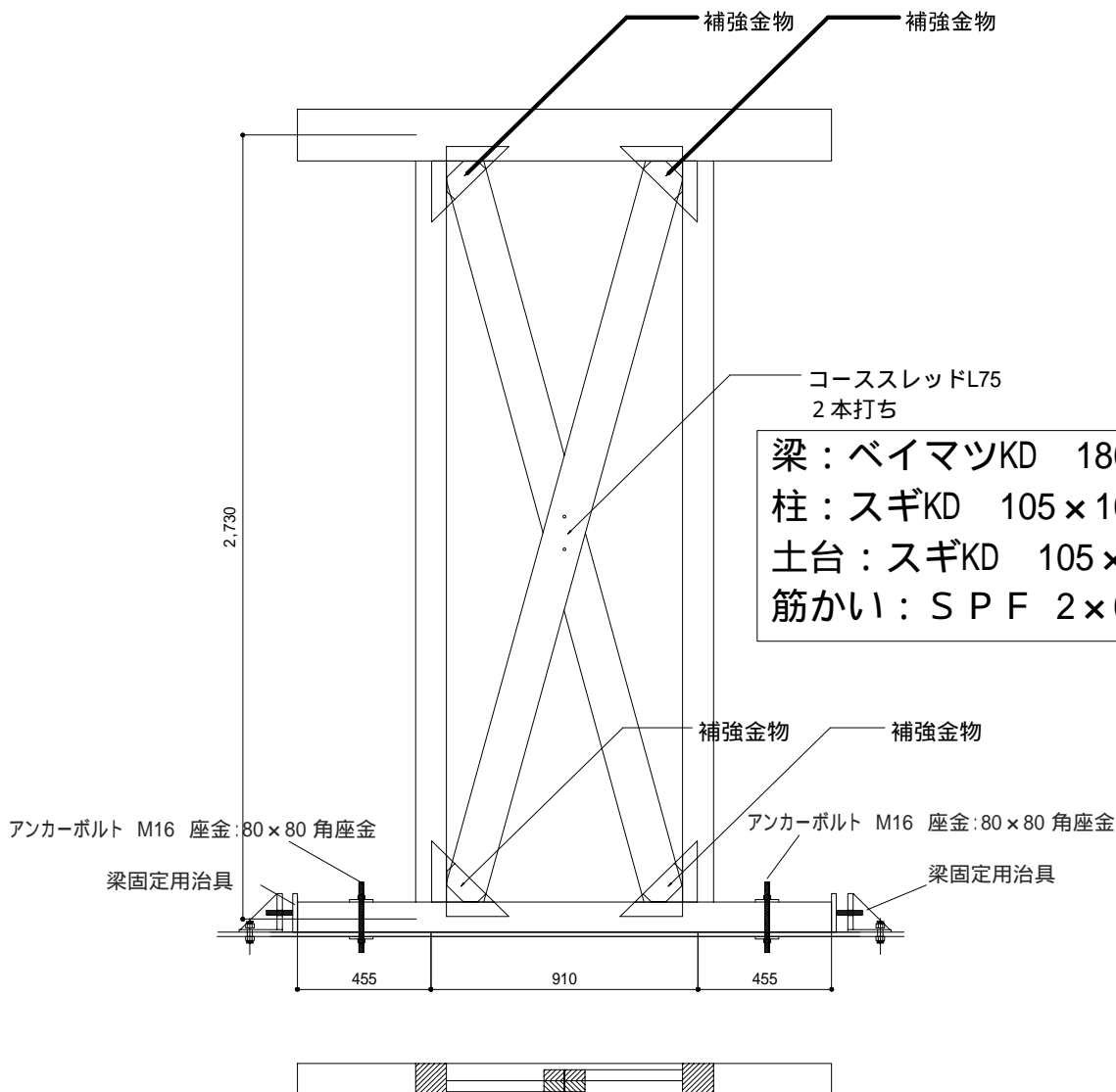
破壊概要

1/450rad.時	損傷なし
1/300rad.時	損傷なし
1/200rad.時	損傷なし
1/150rad.時	損傷なし
1/100rad.時	損傷なし
1/75rad.時	損傷なし
1/50rad.時	損傷なし
最終	筋かいの挫屈、金物の変形、金物釘の引き抜け

4.2. 供試体 SANJIKU-2

供試体 SANJIKU-2 の仕様、計測データ、破壊概要及び試験結果を以下に示す。

供試体仕様	供試体名	構面仕様
供試体	SANJIKU-2	筋かいたすぎがけ
試験日	2010年4月12日(月)	
気温()	18.3	
湿度(%)	71	



密度、含水率、及びヤング係数

部材	密度			含水率				ヤング係数 (Gpa)
	体積(cm ³)	重量(g)	密度(g/cm ³)	測定値1(%)	測定値2(%)	測定値3(%)	平均(%)	
梁	-	-	-	16.00	13.50	14.00	14.50	-
柱	-	-	-	24.50	22.50	23.00	23.33	-
柱	-	-	-	23.50	22.50	23.00	23.00	-
土台	-	-	-	20.50	20.50	23.00	21.33	-
筋かい	-	-	-	17.00	17.50	18.50	17.67	-
筋かい	-	-	-	15.00	15.00	15.00	15.00	-

供試体 SANJIKU-2 の計測データを以下に示す。

計測データ	供試体名	構面仕様
供試体	SANJIKU-2	筋かいたすぎがけ
<p>図 3.2. 1. 加力機ストローク</p>		<p>図 3.2. 2. 頂部水平変位</p>
<p>図 3.2. 3. 脚部水平変位</p>		<p>図 3.2. 4. 左柱脚浮き上がり変位</p>
<p>図 3.2. 5. 右柱脚浮き上がり変位</p>		

写真

SANJIKU- 2 の破壊状況

写真1 (試験体正面 試験開始前)



写真2 (1/150rad 引き)



写真3 (1/100rad 引き)



写真4 (1/75rad 引き)

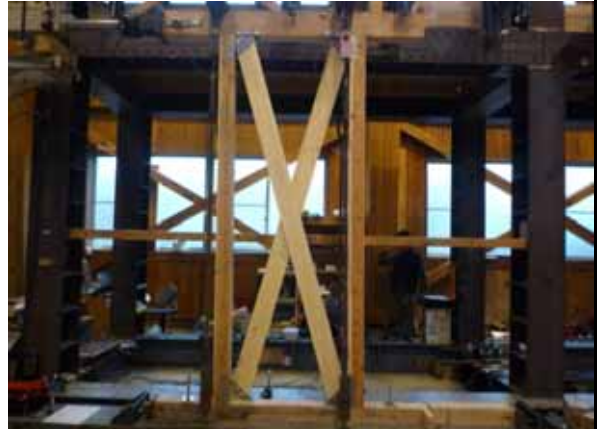


写真5 (1/50rad 引き)



写真6 (最終 引き)



写真7 (最終 引き)



写真8 (最終 引き)



写真

SANJIKU- 2 の破壊状況

写真9 (最終 引き)



写真10 (最終 引き)

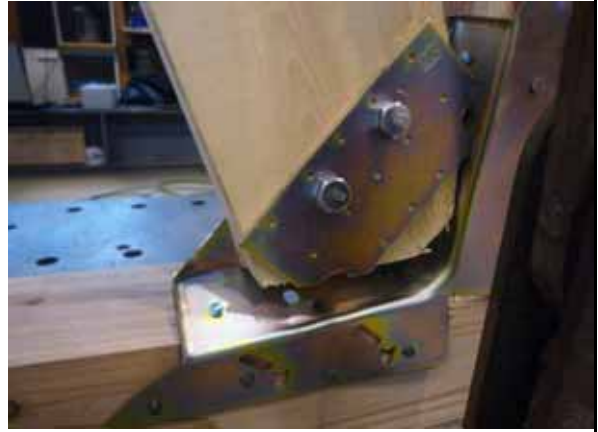


写真11 (最終 引き)



写真12 (最終 引き)



写真13 (最終 引き)



写真14 (最終 引き)



写真15 (最終 引き)

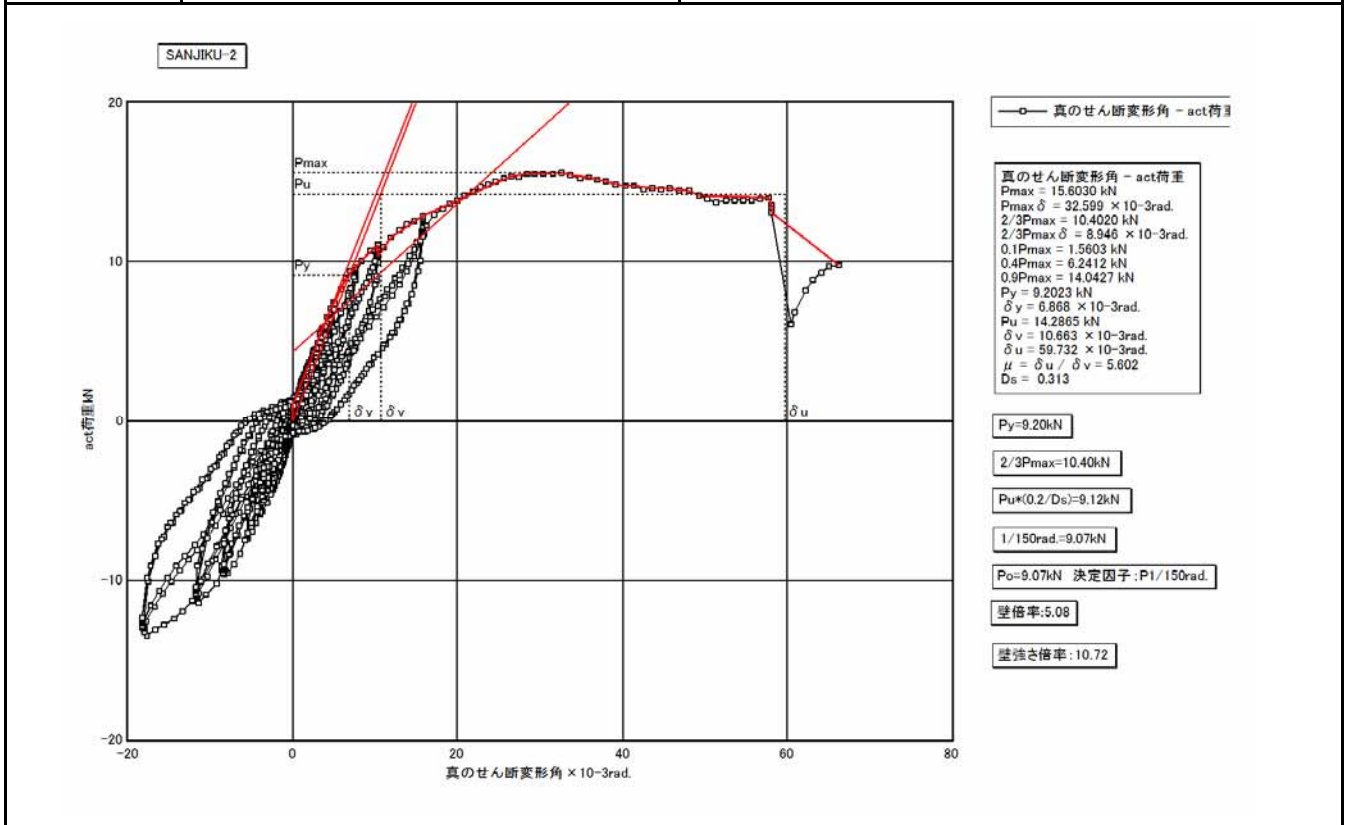


写真16 (最終 引き)



供試体SANJIKU-2の包絡線、完全弾塑性モデル及び破壊概要を以下に示す。

試験結果	供試体名	構面仕様
供試体	SANJIKU-2	筋かいたすきがけ



供試体名	降伏耐力Py (kN)	Pmax × 2/3 (kN)	Pu(0.2/Ds) (kN)	特定変形角 1/150rad.時 (kN)	終局耐力Pu (kN)	最大耐力 Pmax (kN)	最大耐力時変形角 (× 10 ⁻³ rad.)
SANJIKU-2	9.20	10.40	9.12	9.07	14.28	15.60	32.59

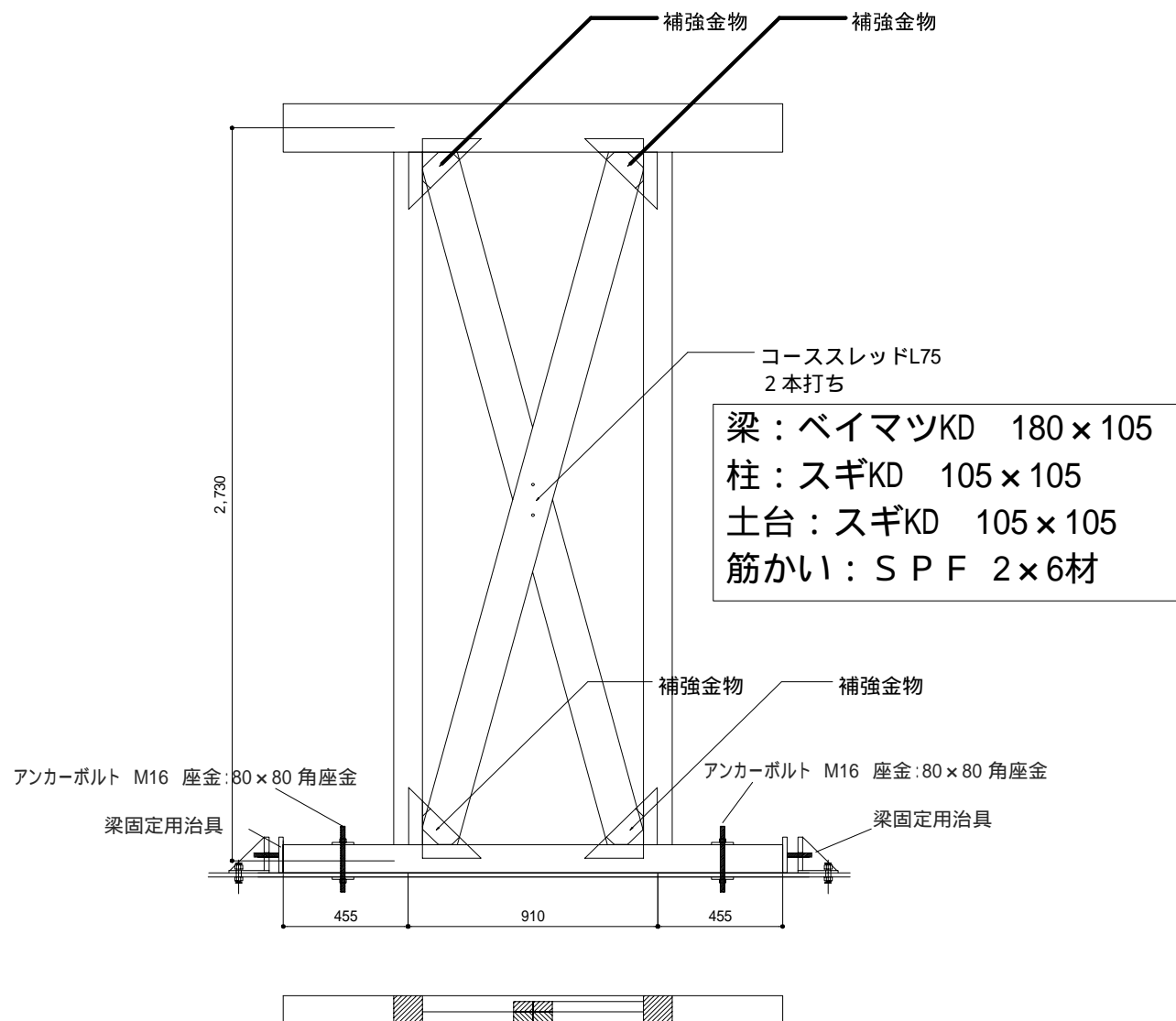
破壊概要

1/450rad.時	損傷なし
1/300rad.時	損傷なし
1/200rad.時	損傷なし
1/150rad.時	損傷なし
1/100rad.時	損傷なし
1/75rad.時	損傷なし
1/50rad.時	損傷なし
最終	筋かいの挫屈、金物の変形、金物釘の引き抜け

4.3. 供試体 SANJIKU-3

供試体 SANJIKU-3 の仕様、計測データ、破壊概要及び試験結果を以下に示す。

供試体仕様	供試体名	構面仕様
供試体	SANJIKU-3	筋かいたすぎがけ
試験日	2010年4月12日(月)	
気温()	18	
湿度(%)	79	



密度、含水率、及びヤング係数

部材	密度			含水率				ヤング係数 (Gpa)
	体積(cm ³)	重量(g)	密度(g/cm ³)	測定値1(%)	測定値2(%)	測定値3(%)	平均(%)	
梁	-	-	-	14.00	15.00	13.50	14.17	-
柱	-	-	-	22.50	24.50	25.00	24.00	-
柱	-	-	-	21.00	20.50	21.00	20.83	-
土台	-	-	-	19.50	20.00	23.00	20.83	-
筋かい	-	-	-	17.50	18.50	19.00	18.33	-
筋かい	-	-	-	22.00	22.00	21.50	21.83	-

供試体SANJIKU-3の計測データを以下に示す。

計測データ	供試体名	構面仕様
供試体	SANJIKU-3	筋かいたすぎがけ
<p>図 3.3. 1. 加力機ストローク</p>		
<p>図 3.3. 2. 頂部水平変位</p>		
<p>図 3.3. 3. 脚部水平変位</p>		
<p>図 3.3. 4. 左柱脚浮き上がり変位</p>		
<p>図 3.3. 5. 右柱脚浮き上がり変位</p>		

写真

SANJIKU- 3 の破壊状況

写真1 (試験体正面 試験開始前)



写真2 (1/150rad 引き)



写真3 (1/100rad 引き)



写真4 (1/75rad 引き)



写真5 (1/50rad 引き)



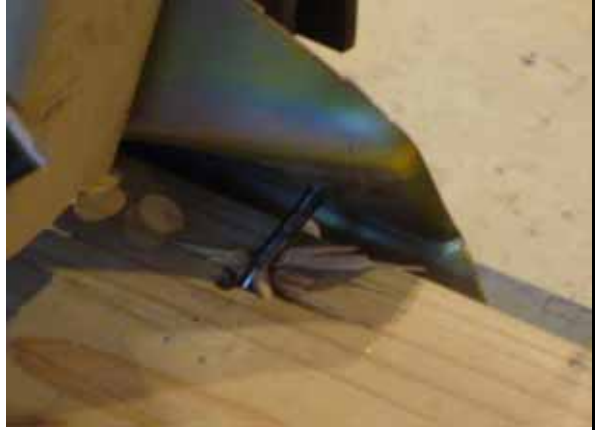
写真6 (最終 引き)



写真7 (最終 引き)



写真8 (最終 引き)



写真

SANJIKU- 3 の破壊状況

写真9 (最終 引き)



写真10 (最終 引き)



写真11 (最終 引き)



写真12 (最終 引き)



写真13 (最終 引き)



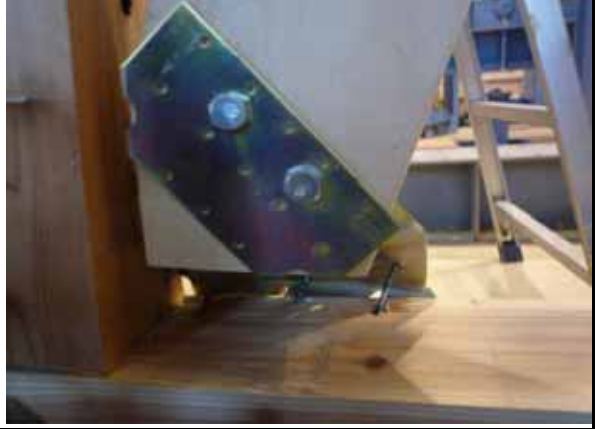
写真14 (最終 引き)



写真15 (最終 引き)

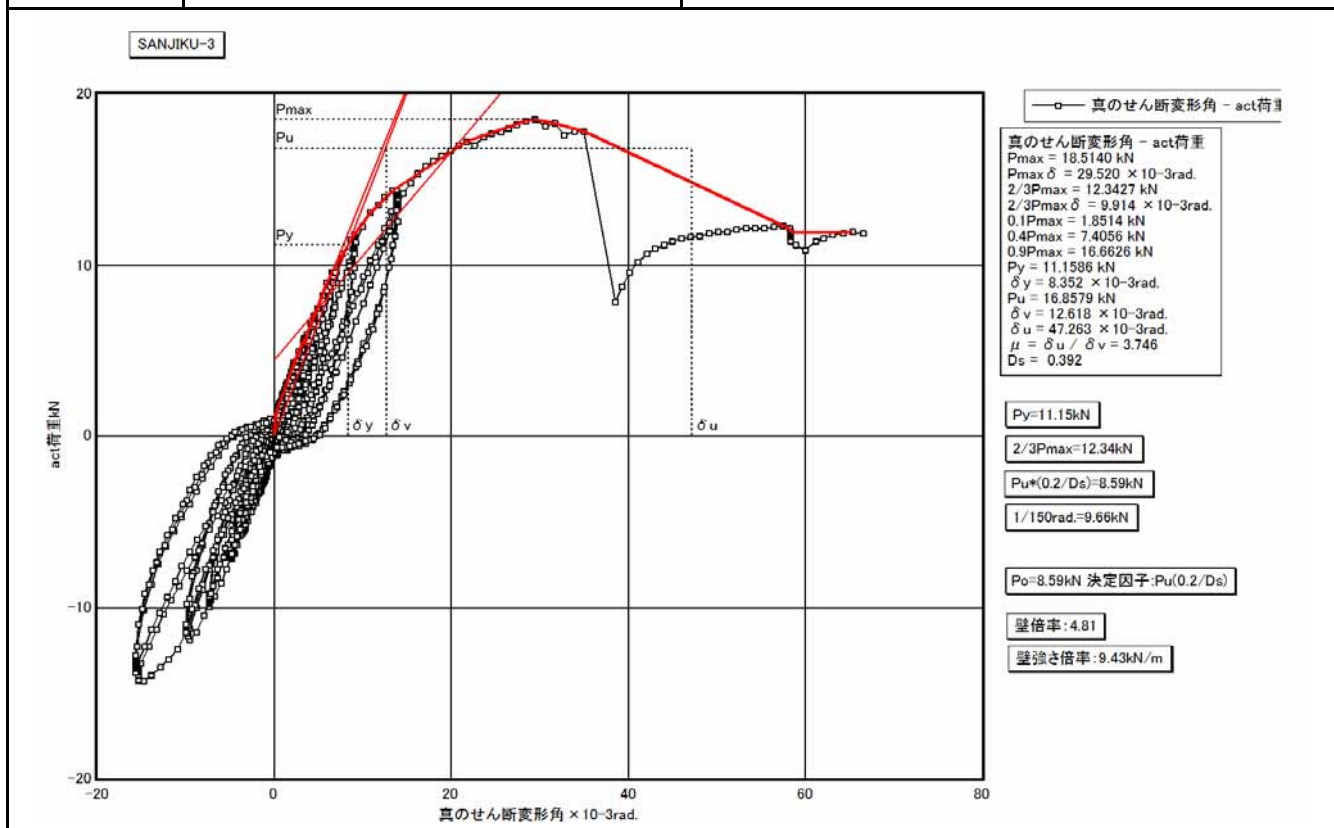


写真16 (最終 引き)



供試体SANJIKU-3の包絡線、完全弾塑性モデル及び破壊概要を以下に示す。

試験結果	供試体名	構面仕様
供試体	SANJIKU-3	筋かいたすぎがけ



供試体名	降伏耐力 P_y (kN)	$P_{max} \times 2/3$ (kN)	$P_u(0.2/D_s)$ (kN)	特定変形角 $1/150 \text{ rad.}$ 時 (kN)	終局耐力 P_u (kN)	最大耐力 P_{max} (kN)	最大耐力時変形角 ($\times 10^{-3} \text{ rad.}$)
SANJIKU-3	11.15	12.34	8.59	9.66	16.85	18.51	29.52

破壊状況

1/450rad.時	損傷なし
1/300rad.時	損傷なし
1/200rad.時	損傷なし
1/150rad.時	損傷なし
1/100rad.時	損傷なし
1/75rad.時	損傷なし
1/50rad.時	損傷なし
最終	筋かいの挫屈、金物の変形、金物釘の引き抜け