

株式会社 丸久
SANJIKU金物を用いた筋かい+合板耐力壁
面内せん断試験
試験報告書

2015年2月

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

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	SANJIKU 金物を用いた筋かい+合板耐力壁 面内せん断試験
構造試験の申込者の名称及び住所	株式会社 丸久 岐阜県可児市広見 8 3 0 番地の 1
担当者	肥田 茂
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	准教授 小原 勝彦  特定非営利活動法人 WOOD AC 岐阜県美濃市 97 番地 4 理事 河本 和義 星合 健太郎 田畑 勝
構造試験実施期間及び実施場所	試験実施日：2014 年 12 月 9 日(火) 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

図 2.2.1、図 2.2.2 に示す、筋かい金物 SANJIKU を用いた筋かい (38 × 114 たすき掛け) と構造用合板(12mm)を併用した耐力壁の構造性能を把握することを目的とする。

1.3 試験方法

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

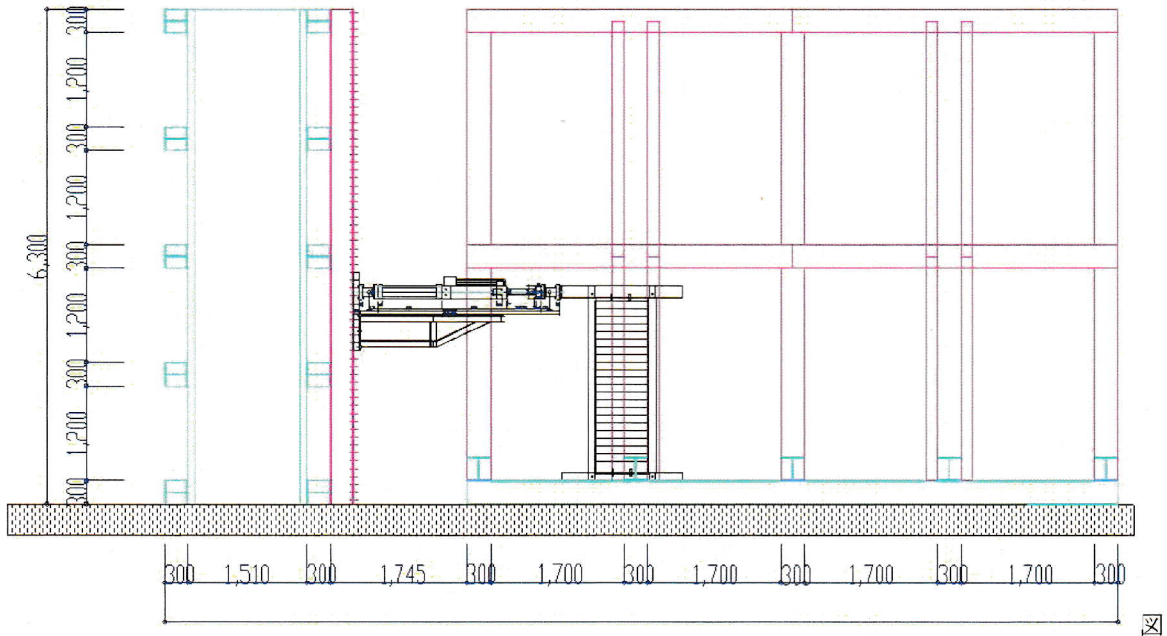
試験の方法は、(財)日本住宅・木材技術センターが定める「木造軸組工法住宅の許容応力度設計 2008 年版」中の「2章 木造軸組工法住宅の各部要素の試験方法と評価方法」に準拠する。試験はタイロッド式で行う。

(1) 試験体は、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と 2-M16 ボルトを用い、加力機をのぼし、ナットで固定して行う。

(3) 荷重載荷の繰り返しは、頂部の水平変形制御で、1/600、1/450、1/300、1/200、1/150、1/100、1/75、1/50rad.、までの正負交番とする。

(4) 繰り返し加力は同一ステップで 3 回とする。但し、最終サイクルでは、筋かい金物が片側取り付けとなる柱脚が引張方向に働く側に単調加力とする。



1.3.1 試験体設置位置立面図

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 1.5.1 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。

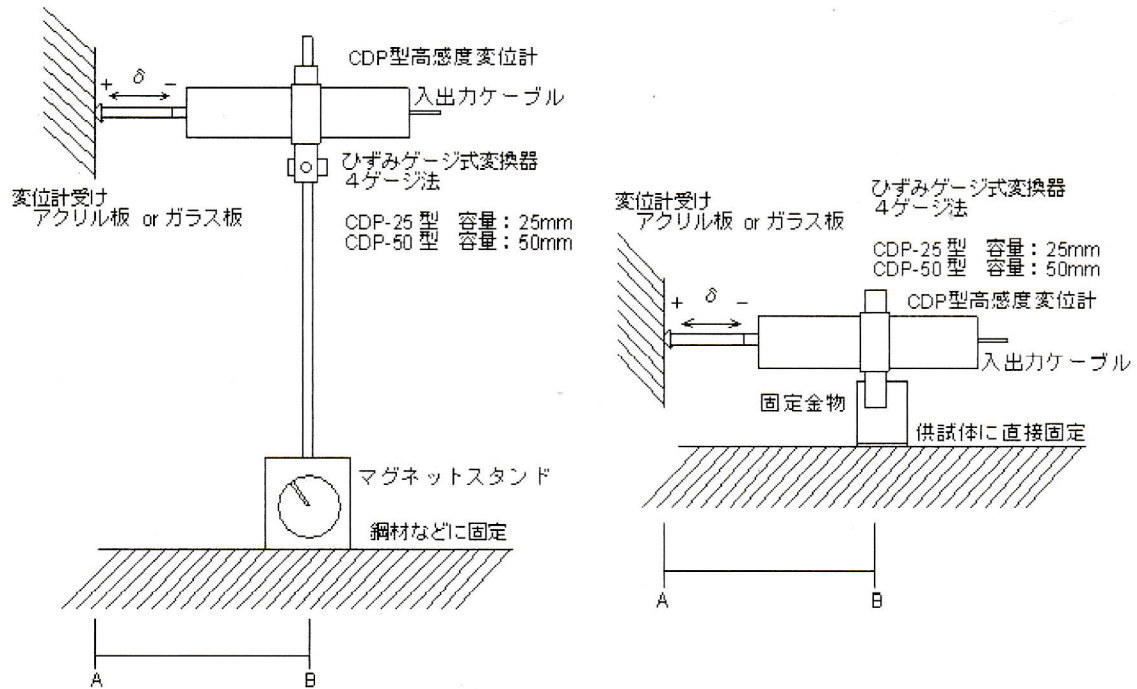


図 1.5.1 高感度変位計設置の方法と計測概要比較

1. 5. 2 巻込型変位計 ((株) 東京測器製)

図 1.5.2 に示すように、フックを試験体に設置し、変位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。

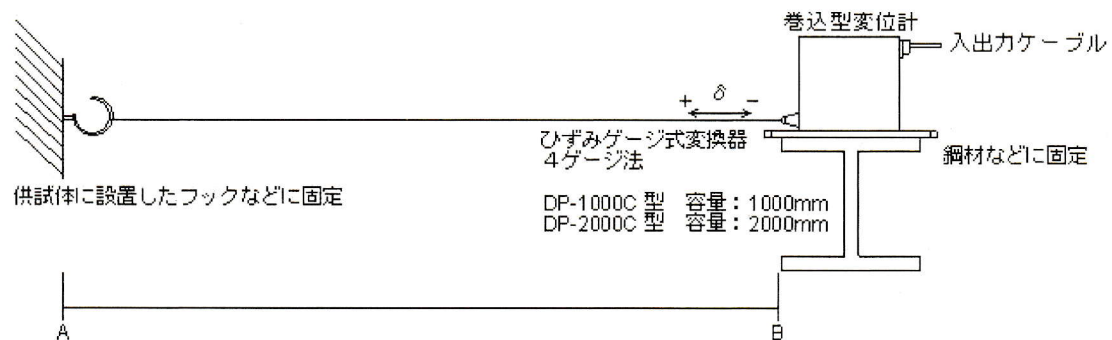
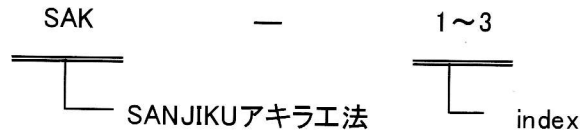


図 1.5.2 高感度変位計設置の方法と計測概要

2. 試験体仕様

2.1 試験体仕様

試験体の仕様について以下にまとめる。(詳細については、2.2の試験体図を参照のこと)
本報告書内での試験体記号の意味は以下のように定義した。



なお、本報告書では、面材張り付け側を”正面”と定義し、正面から見て右側の柱を”右柱”、正面から見て左側の柱を”左柱”と定義する。

■主要軸組み

- ・柱 : スギ 105 × 105mm
- ・梁 : ベイマツ 105 × 180mm
- ・土台 : スギ 105 × 105mm
- ・筋かい : SPF 2 × 6材 (39 × 114mm)
- ・間柱 : ホワイトウッド 30 × 105mm

■金物

- ・筋かい金物 : SANJIKU 金物片面仕様 (右柱)
: SANJIKU 金物両面仕様 (左柱)
※詳細は、試験体図 2.2.2 に記載
- ・柱頭-梁 : カスガイ L120mm (片側)
- ・柱脚-土台 : カスガイ L120mm (片側)
- ・面材留めつけ : N50 釘 (外周@ 100mm、真中@ 150mm、釘縁距離 15mm)
- ・間柱-筋かい : 間柱側面から筋かい側面に向かって N90 釘
- ・筋かい-筋かい : N90 釘 2本
- ・間柱-梁・土台 : N75 釘 1本斜め打ち

■面材

- ・JAS 構造用合板 t12mm (特類、2級、)
※面材のかかり代、張り付け方は試験体図 2.2.1 に記載

1. 4 加力・計測システム

アクチュエータ型加力機（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 ケーブルを介して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、試験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。

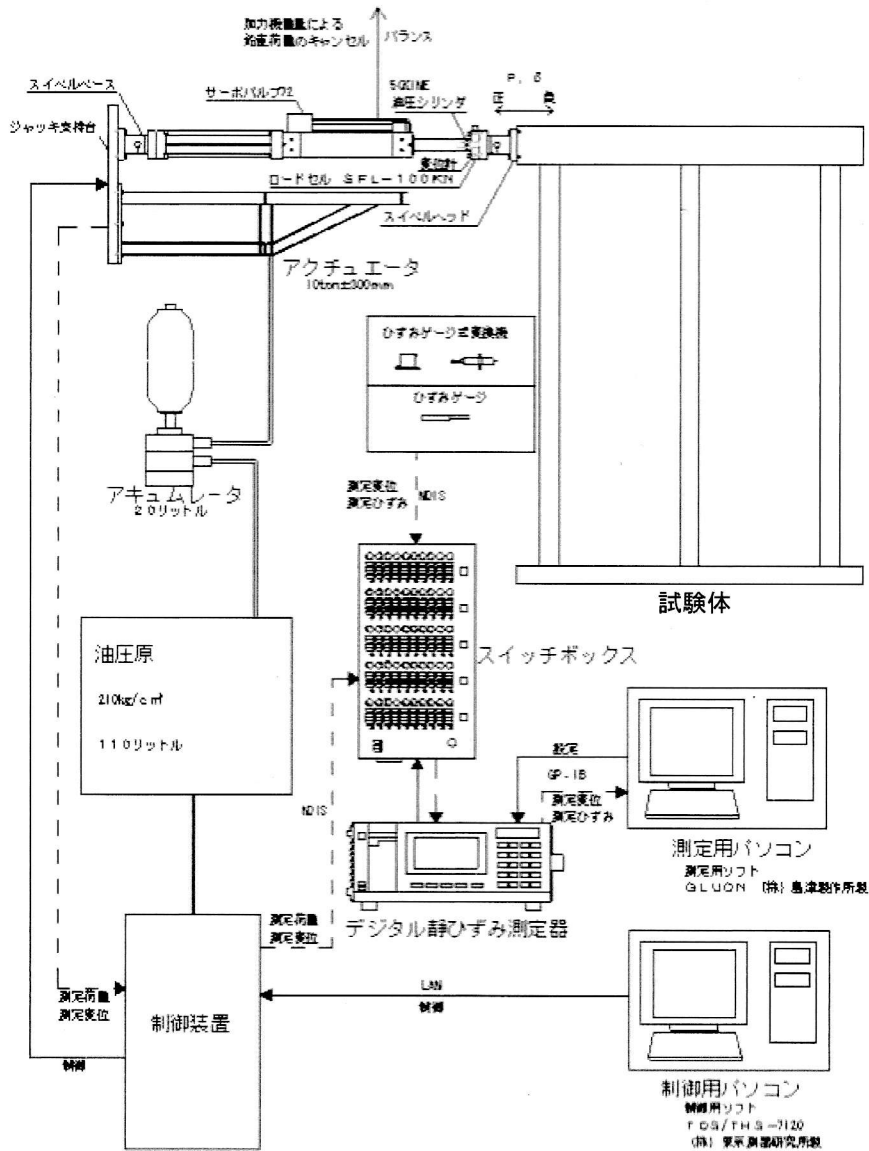


図 1.4.1 加力・計測システム概要図

2. 2 試験体図

試験体図を以下に示す。

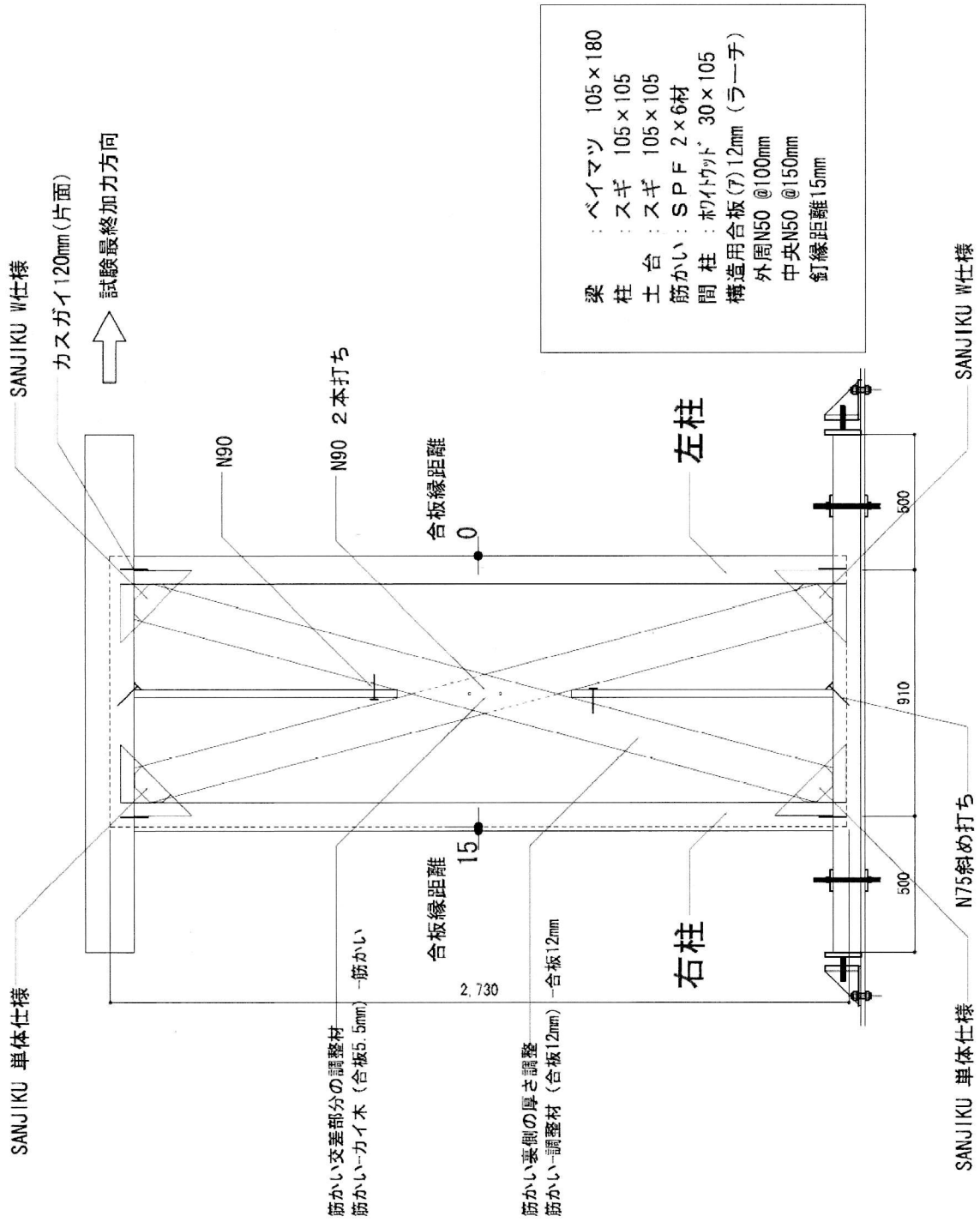
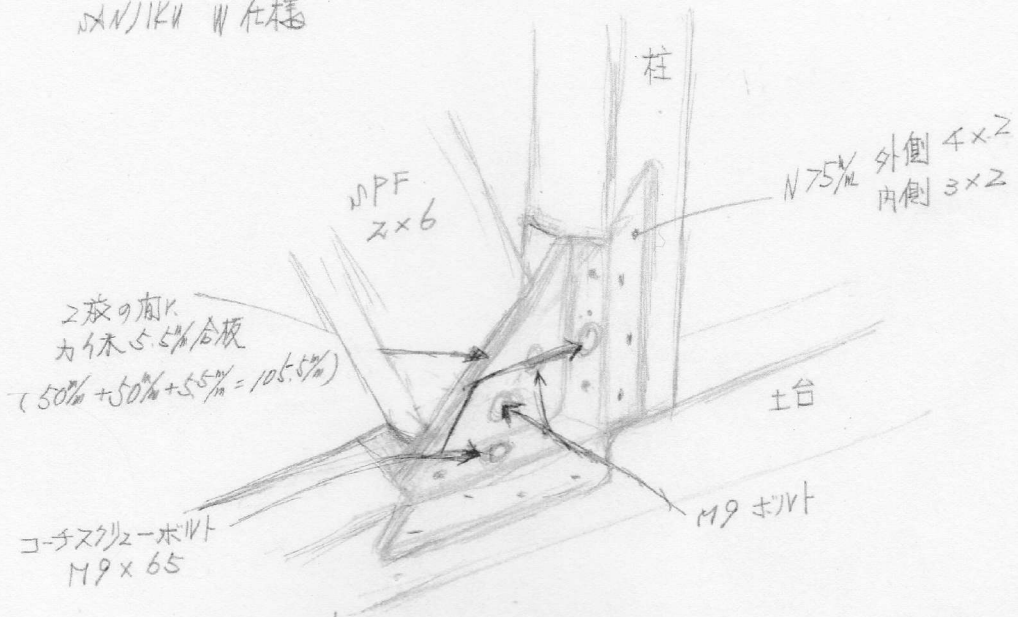
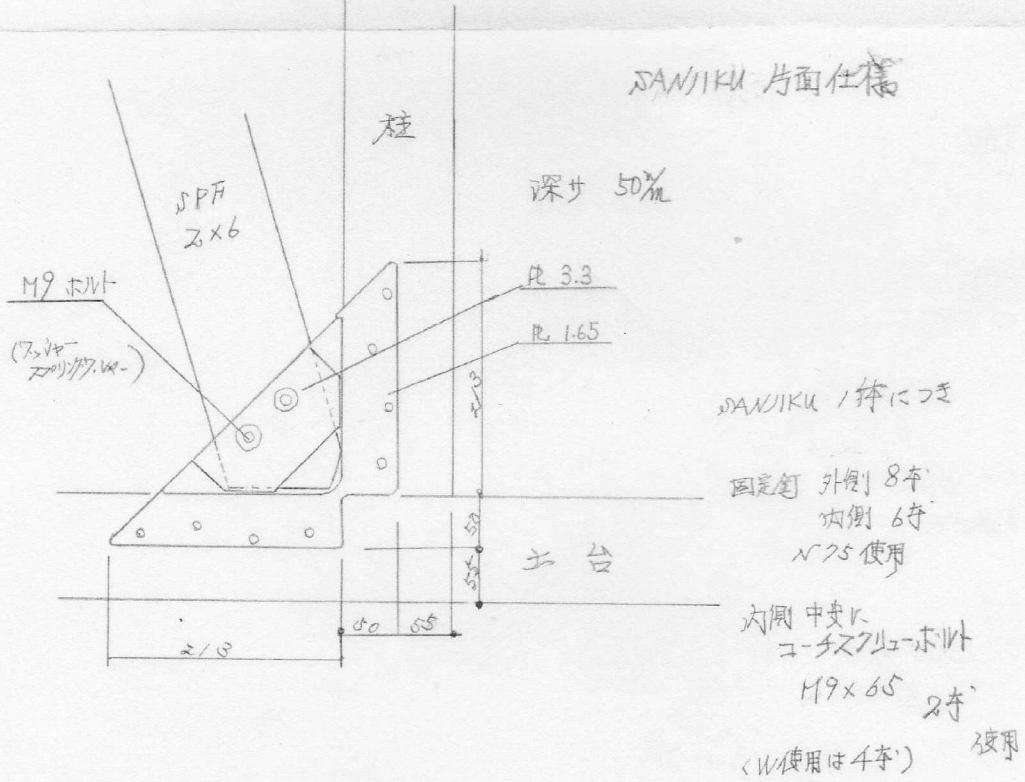


図 2.2.1 試験体図 (依頼者提供)

SANJIKU W仕様



SANJIKU 片面仕様



※ SANJIKU 金物詳細図については別紙参照

図 2.2.2 SANJIKU 金物概略図 (依頼者提供)

2. 3 試験体諸元

表 2.3.1 試験体諸元

SAK-1		含水率(%)				重量 (kg)	比重
		1	2	3	平均		
柱	左	13.0	12.0	13.5	12.8	12.25	0.40
	右	13.5	15.0	15.0	14.5	11.80	0.39
梁		14.5	12.5	12.0	13.0	17.00	0.47
土台		14.5	12.0	15.5	14.0	8.50	0.40
間柱		11.5	11.0	11.0	11.2	-	-
筋かい	A	16.5	16.0	15.5	16.0	5.70	0.40
	B	14.0	14.0	13.5	13.8	6.70	0.47

SAK-2		含水率				重量 (kg)	比重
		1	2	3	平均		
柱	左	15.0	17.0	14.0	15.3	11.50	0.38
	右	16.5	13.5	13.0	14.3	12.00	0.39
梁		21.0	22.0	21.5	21.5	19.00	0.53
土台		15.5	16.0	16.0	15.8	8.70	0.41
間柱		13.0	13.0	13.5	13.2	-	-
筋かい	A	13.5	13.5	13.0	13.3	6.85	0.48
	B	14.5	14.5	15.0	14.7	6.00	0.42

SAK-3		含水率				重量 (kg)	比重
		1	2	3	平均		
柱	左	21.0	21.0	18.5	20.2	12.30	0.40
	右	12.0	12.0	11.5	11.8	12.00	0.39
梁		13.0	15.0	14.0	14.0	16.50	0.46
土台		11.5	12.0	13.5	12.3	8.45	0.40
間柱		12.0	12.5	12.5	12.3	-	-
筋かい	A	14.0	15.0	14.0	14.3	6.30	0.44
	B	14.5	15.5	15.5	15.2	6.30	0.44

※筋かい A は正面から見て右上-左下に掛かる筋かい
 筋かい B は正面から見て左上-右下に掛かる筋かい
 ※含水率は高周波式含水率計で1部材につき3点測定
 ※比重は気乾比重を示す

3. 計測結果

3.1 荷重-変位曲線

3.2 試験体 SAK-1

試験体 SAK - 1 の荷重-各部変位関係を図 3.2.1 ~ 図 3.2.5 に示す。

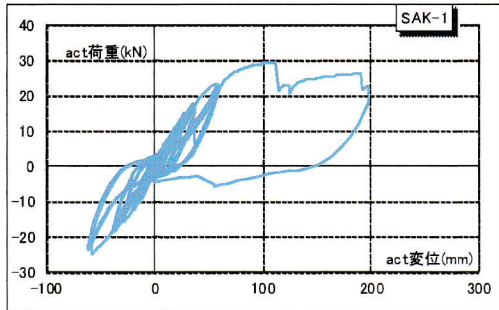


図 3.2.1. 加力機ストローク

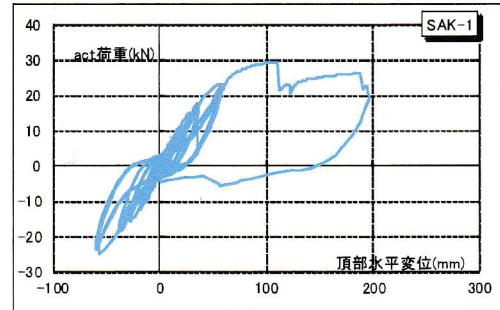


図 3.2.2. 頂部水平変位

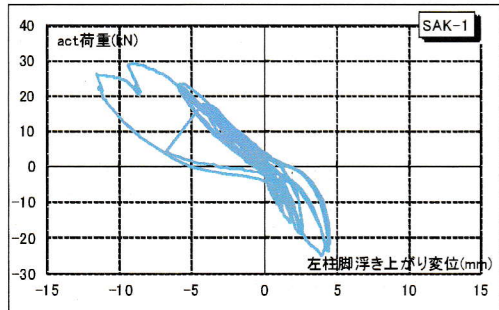


図 3.2.3. 左柱脚浮き上がり変位

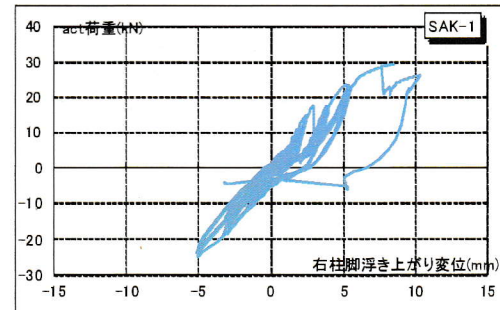


図 3.2.4. 右柱脚浮き上がり変位

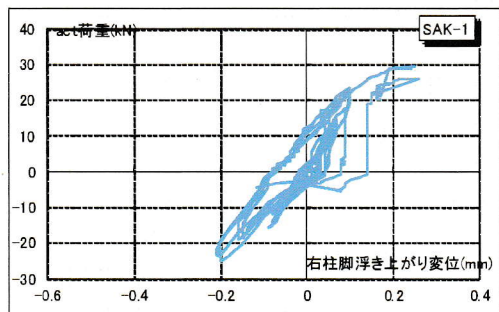


図 3.2.5. 脚部水平変位

3.3 試験体 SAK-2

試験体 SAK - 2 の荷重-各部変位関係を図 3.3.1 ~ 図 3.3.5 に示す。

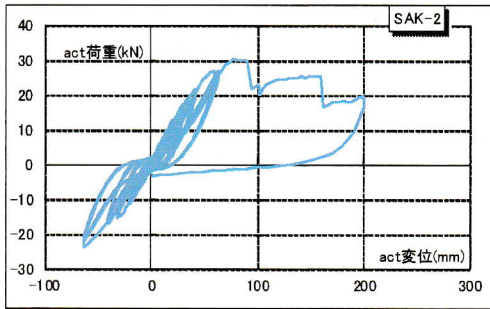


図 3.3.1. 加力機ストローク

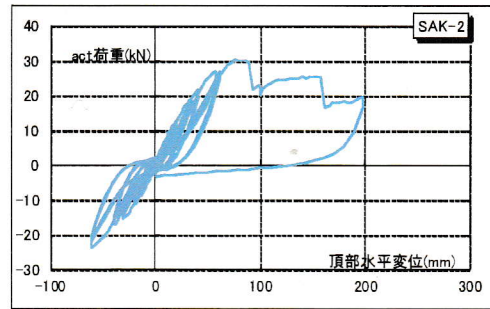


図 3.3.2. 頂部水平変位

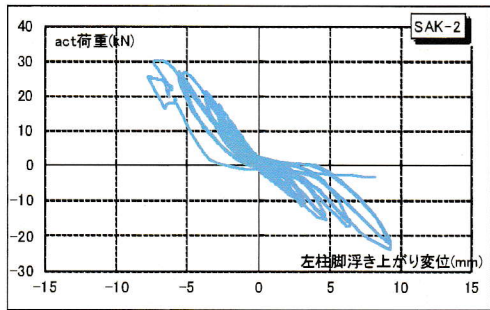


図 3.3.3. 左柱脚浮き上がり変位

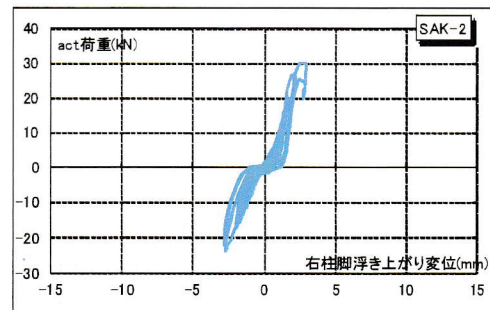


図 3.3.4. 右柱脚浮き上がり変位

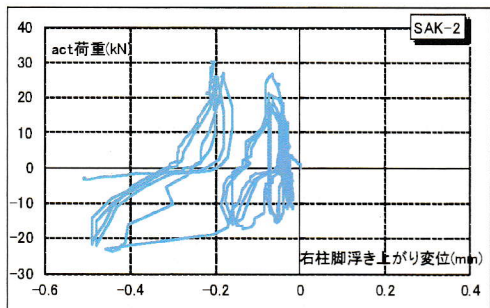


図 3.3.5. 脚部水平変位

3.4 試験体 SAK-3

試験体 SAK - 3 の荷重-各部変位関係を図 3.4.1 ~ 図 3.4.5 に示す。

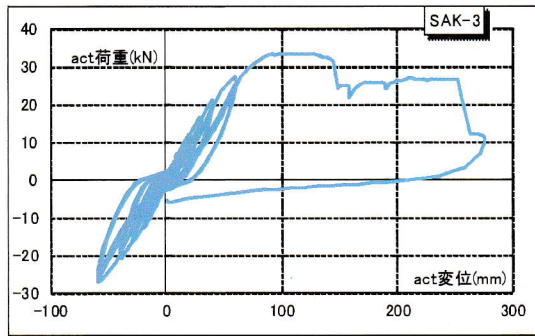


図 3.4.1. 加力機ストローク

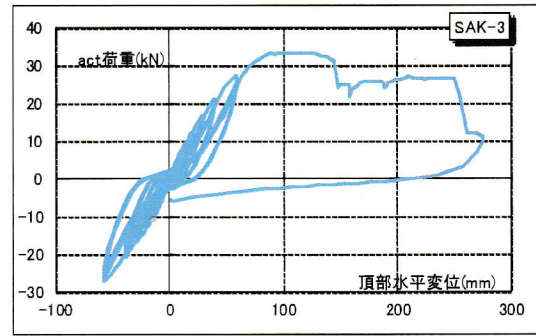


図 3.4.2. 頂部水平変位

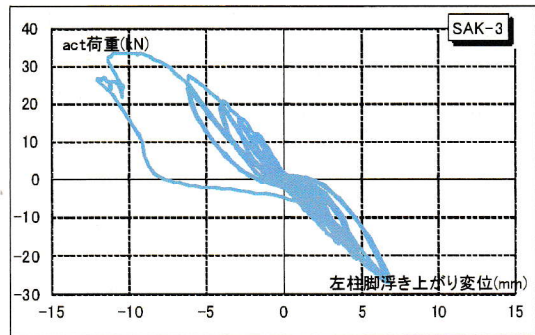


図 3.4.3. 左柱脚浮き上がり変位

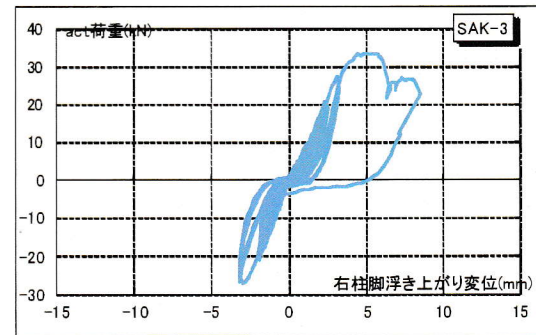


図 3.4.4. 右柱脚浮き上がり変位

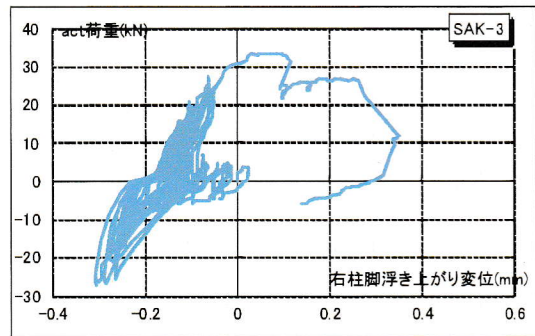


図 3.4.5. 脚部水平変位

3.5 各試験体の特定変形角時の荷重

表 3.5.1 に各試験体の特定変形角時の荷重一覧を示す。

表 3.5.1 各試験体の特定変形角時の荷重

試験体名	特定変形時荷重(kN)								
	1/450rad.	1/300rad.	1/200rad.	1/150rad.	1/100rad.	1/75rad.	1/50rad.	1/30rad.	1/15rad.
SAK-1	10.71	13.68	18.32	20.89	25.29	27.09	29.12	—	—
SAK-2	9.54	12.11	15.60	18.12	23.31	26.98	29.95	—	—
SAK-3	8.84	11.90	16.00	19.61	25.78	29.74	33.40	31.33	—

※変形角は真のせん断変形角の値を用いた

4. 破壊概要

4.1 SAK-1

試験体 SAK-1 の破壊概要写真を以下の写真4.1.1～写真4.1.12に示す。

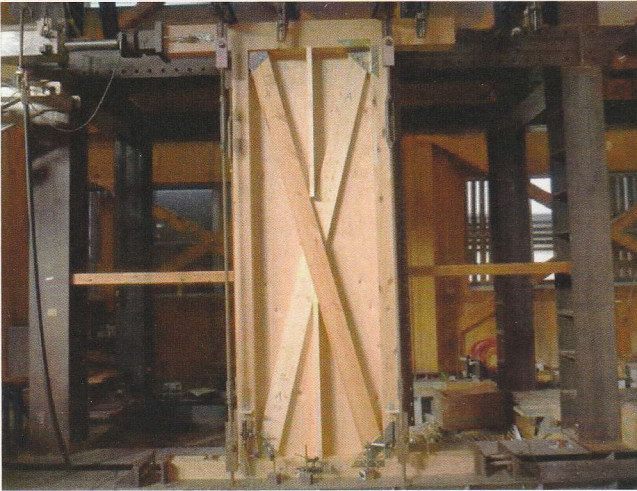


写真4.1.1 試験体全景(加力前)



写真4.1.2 試験体全景(最終変形時)



写真4.1.3 右柱脚の浮き(4mm程度)(1/100rad時(引き))



写真4.1.4 金物の変形(1/75rad時(押し))(柱脚引張側)



写真4.1.5 釘頭のめり込み(1/75rad時(押し))



写真4.1.6 釘頭のめり込み(1/50rad時(引き))



写真4.1.7 右柱脚木口の土台へのめり込み(1/50rad時(引き))



写真4.1.8 筋かい-筋かい留め付け釘の抜け(最終変形時)



写真4.1.9 左柱木口の土台へのめり込み(最終変形時)



写真4.1.10 釘頭の面材へのめり込み(最終変形時)



写真4.1.11 筋かいの座屈(最終変形時)

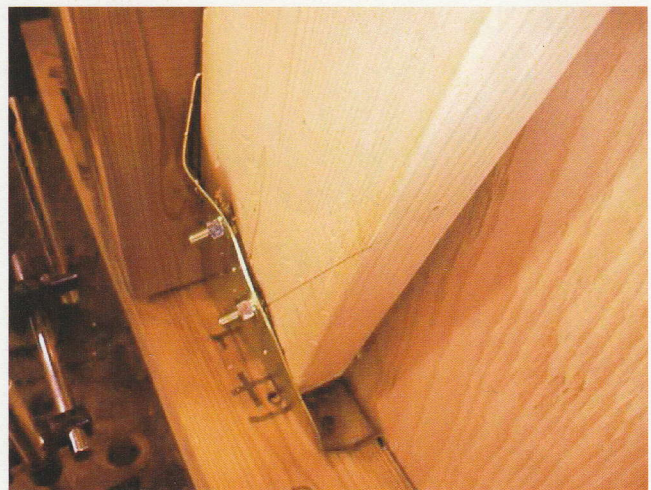


写真4.1.12 金物の変形(最終変形時)(柱脚引張側)

4. 2 SAK-2

試験体 SAK-2 の破壊概要写真を以下の写真4. 2. 1～写真4. 2. 12に示す。

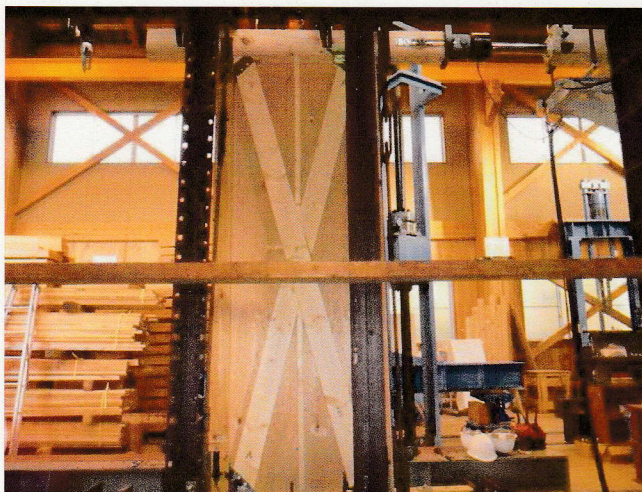


写真4.2.1 試験体全景(加力前)

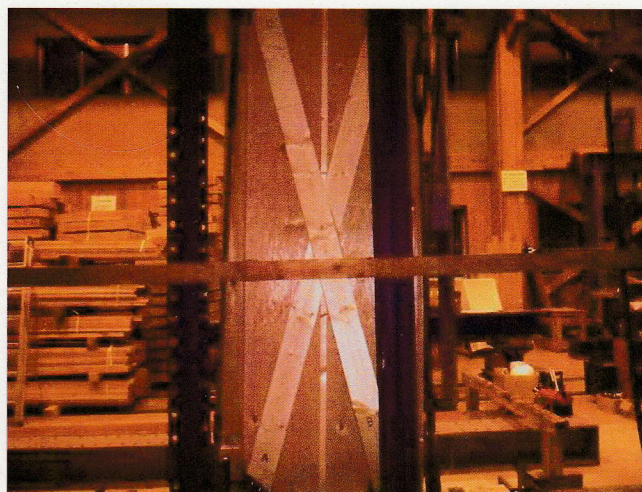


写真4.2.2 試験体全景(最終変形時)



写真4.2.3 金物の変形(1/100rad時(引き))(柱頭引張側)



写真4.2.4 右柱脚の浮き(5mm程度)(1/100rad時(引き))



写真4.2.5 釘頭のめり込み(1/75rad時(引き))

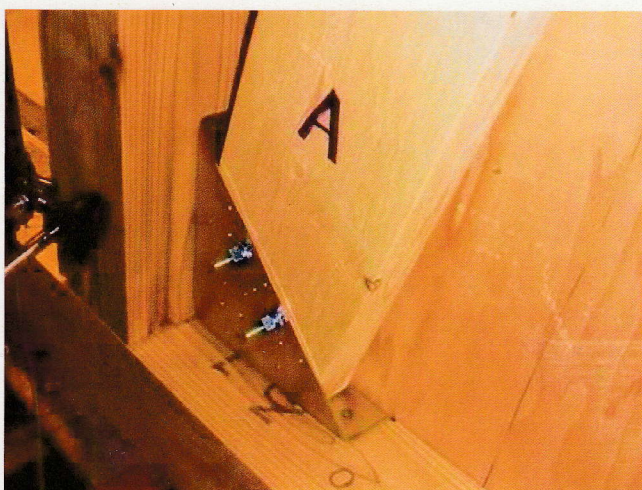


写真4.2.6 金物の変形(1/75rad時(引き))(柱脚引張側)

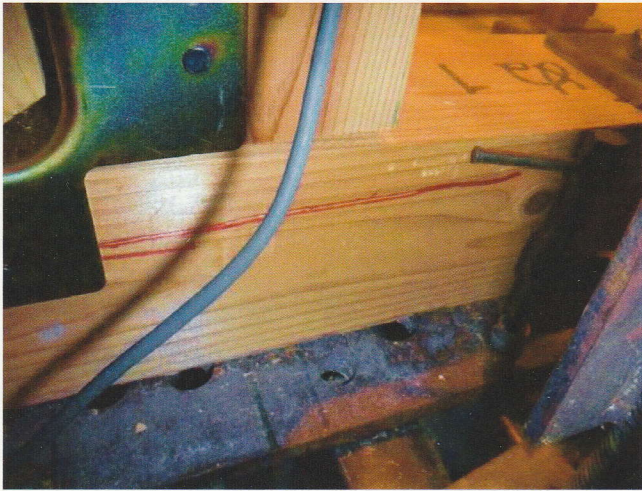


写真4.2.7 土台の割れ(1/75rad時(押し))(柱脚引張側)

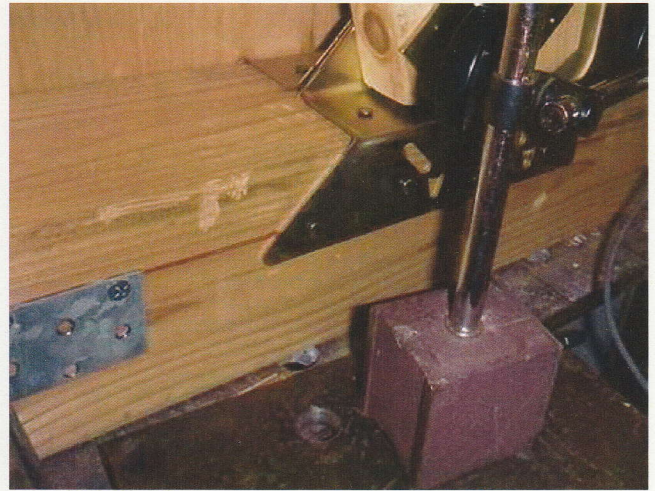


写真4.2.8 土台の割れ(1/50rad時(押し))(柱脚引張側)



写真4.2.9 間柱の割れ(最終変形時)



写真4.2.10 釘頭のめり込み(最終変形時)



写真4.2.11 筋かいの座屈(最終変形時)

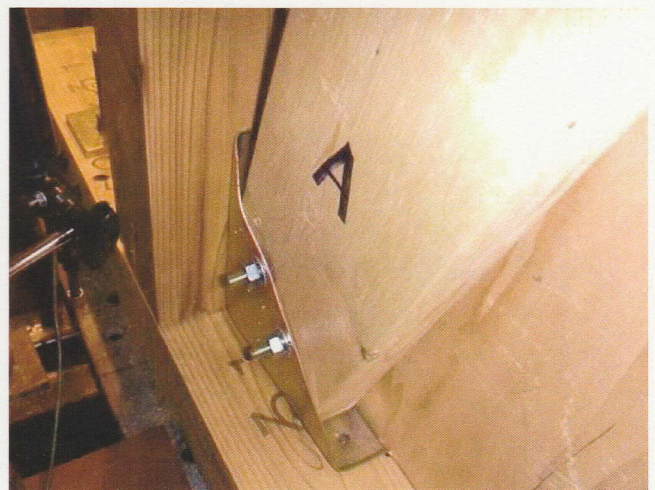


写真4.2.12 金物の変形(最終変形時)(柱脚引張側)

4. 3 SAK-3

試験体 SAK-3 の破壊概要写真を以下の写真4. 3. 1～写真4. 3. 12に示す。

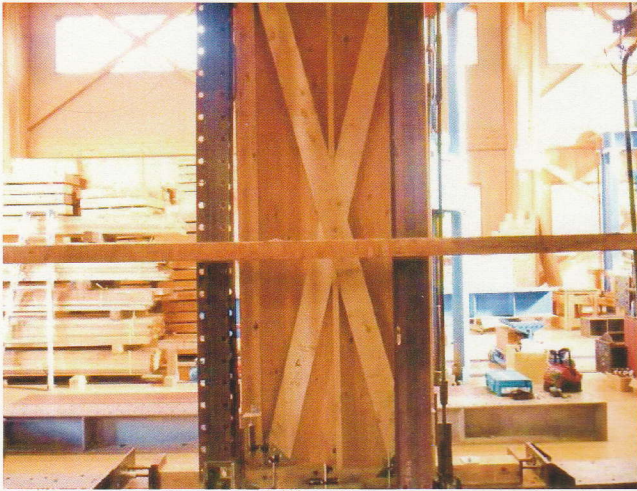


写真4.3.1 試験体全景(加力前)

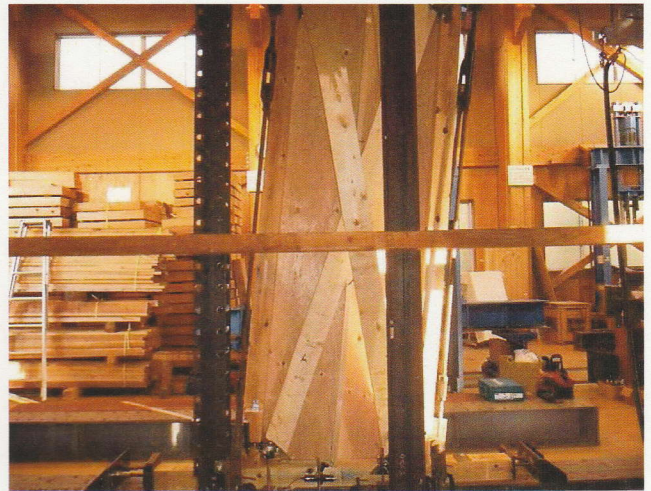


写真4.3.2 試験体全景(最終変形時)



写真4.3.3 釘頭のめり込み(1/100rad時(引き))



写真4.3.4 右柱脚の浮き(5mm程度)(1/100rad時(引き))



写真4.3.5 金物の変形(1/75rad時(引き))(柱脚引張側)



写真4.3.6 左柱脚木口の土台へのめり込み(1/75rad時(引き))



写真4.3.7 間柱の割れ(最終変形時)



写真4.3.8 土台の割れ(最終変形時)(柱脚引張側)

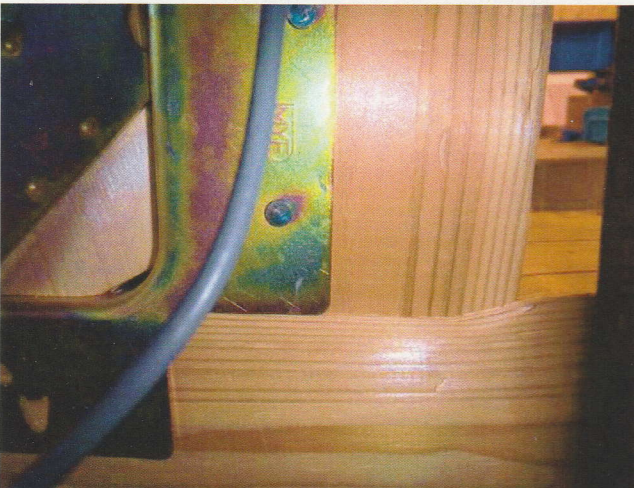


写真4.3.9 左柱脚木口の土台へのめり込み(最終変形時)



写真4.3.10 釘頭の面材へのめり込み(最終変形時)



写真4.3.11 筋かいの座屈(最終変形時)



写真4.3.12 金物の変形(最終変形時)(柱脚引張側)

5. 試験結果

5. 1 算定方法

5. 1. 1 短期基準せん断耐力

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。

①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。

②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－変形曲線より求めたものとする。

③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。

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

④剛性

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 $1/120\text{rad}$ 時の荷重 (P_{120})

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

⑤短期基準せん断耐力

短期基準せん断耐力 P_o は上記①～④(すべての試験体において 5.1.2 の手順で求めた降伏変位 δ_y が真のせん断変形角で $1/300\text{rad}$ より小さく、かつ、真のせん断変形角 $1/300\text{rad}$ 時に著しい損傷がない場合にあっては、上記①に掲げる特定変形時の耐力を試験方法にかかわらず真のせん断変形角 $1/300\text{rad}$ 時の耐力とし、上記①、③、④) 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。

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

⑥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。

$$P_a = P_o \times \alpha$$

P_o : 実験値により決定された短期基準せん断耐力

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
本書では、 α については記載しない。

⑦壁倍率の決定方法

本書では、短期基準せん断耐力より算定した倍率を実験壁倍率と表記する。

$$\text{実験壁倍率 } n = P_o[\text{kN}] \times (1/1.96[\text{kN}]) \times (1/L[\text{m}])$$

5. 1. 2 完全弾塑性モデルの作成

試験で得られた荷重—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。

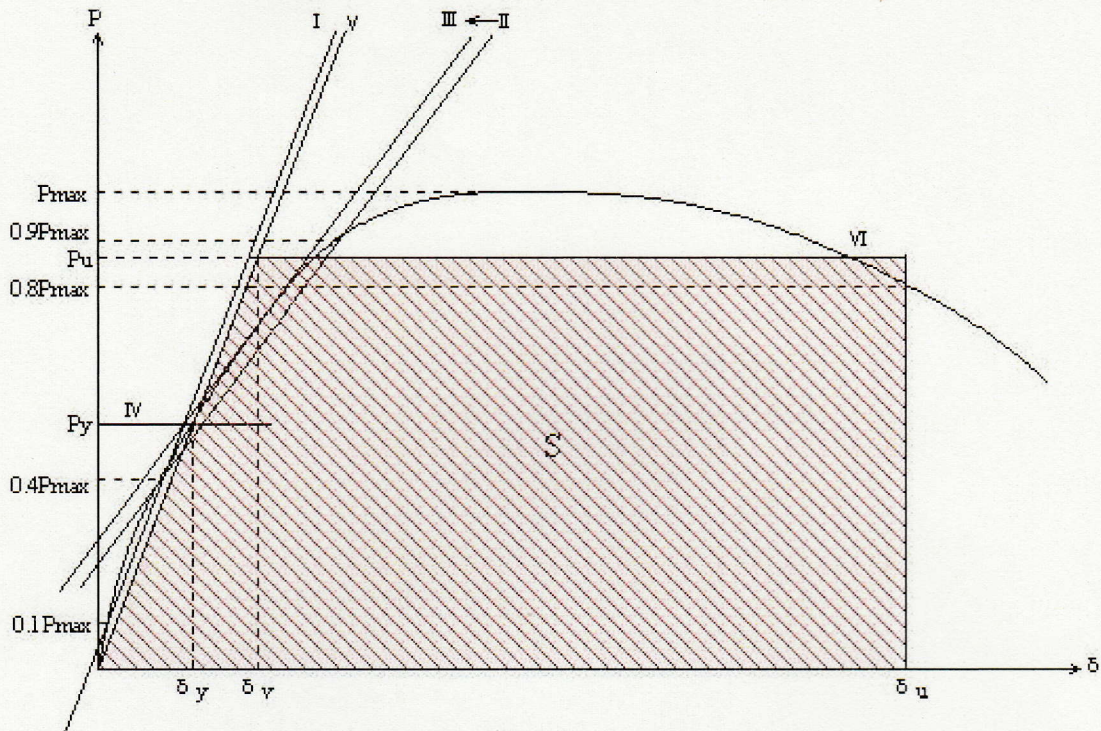


図 5.1.1 完全弾塑性モデルの作成方法

- 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。

5. 2 短期基準せん断耐力と実験壁倍率

短期基準せん断耐力及び実験壁倍率は、前項の計算方法により評価した。表 5.2.1 に各試験体の算定結果、図 5.2.1 ~ 4 に包絡線および完全弾塑性モデルについて示す。

- ①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。
- ②上記の包絡線より完全弾塑性モデルによる降伏耐力、降伏変形角、終局耐力、終局変形角を求める。

表 5.2.1 各試験体の短期基準せん断耐力と実験壁倍率

試験体記号	SAK-1	SAK-2	SAK-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] ※1/15radまで	29.150	30.258	33.477
最大荷重時変形角 δpmax [10 ⁻³ rad]	19.730	17.260	23.863
①2/3Pmax [kN]	19.433	20.172	22.318
②降伏耐力 Py [kN]	16.288	15.395	17.639
降伏変形角 δy [10 ⁻³ rad]	4.078	4.913	5.803
終局耐力 Pu [kN]	26.753	27.120	31.908
降伏点変形角 δv [10 ⁻³ rad]	6.698	8.655	10.497
終局変形角 δu [10 ⁻³ rad]	22.945	23.279	34.724
剛性 K [kN/10 ⁻³ rad] (K = Py/δy)	3.994	3.134	3.040
塑性率 μ (μ = δu/δv)	3.426	2.690	3.308
構造特性係数 Ds (Ds = 1/sqrt(2*μ-1))	0.413	0.478	0.422
③Pu(0.2/Ds) [kN]	12.943	11.351	15.123
④真P1/150rad [kN]	20.893	18.121	19.608
破壊モード	筋かい-筋かい 留めつけ釘の抜け		筋かい-筋かい 留めつけ釘の抜け
		間柱の割れ	間柱の割れ
	筋かいの圧縮破壊	筋かいの座屈破壊	筋かいの座屈破壊
	筋かい金物の変形	筋かい金物の変形	筋かい金物の変形
	面材釘のめり込み	面材釘のめり込み	面材釘のめり込み
		土台の割れ	土台の割れ
	柱頭・柱脚の浮き上がり、めり込み	柱頭・柱脚の浮き上がり、めり込み	柱頭・柱脚の浮き上がり、めり込み
突壁長 [m]	0.91	0.91	0.91
短期基準せん断耐力 [kN/m] (MIN①~④)	14.22	12.47	16.61
実験壁倍率	7.25	6.36	8.47
実験壁倍率決定因子 (MIN①~④)	Pu(0.2/Ds)	Pu(0.2/Ds)	Pu(0.2/Ds)

表 5.2.2 試験体仕様 SAK - 1 ~ 3 のバラツキを考慮した実験壁倍率

SAK- 1~3	平均値	標準偏差	K(n=3)	ばらつき係数	50%下限値
2/3Pmax [kN]	20.641	1.498	0.471	0.966	19.935
降伏耐力Py [kN]	16.441	1.130	0.471	0.968	15.908
Pu(0.2/Ds) [kN]	13.139	1.893	0.471	0.932	12.247
真P1/150rad [kN]	19.541	1.387	0.471	0.967	18.887
実験壁倍率 (決定因子)					6.86 (Pu(0.2/Ds))

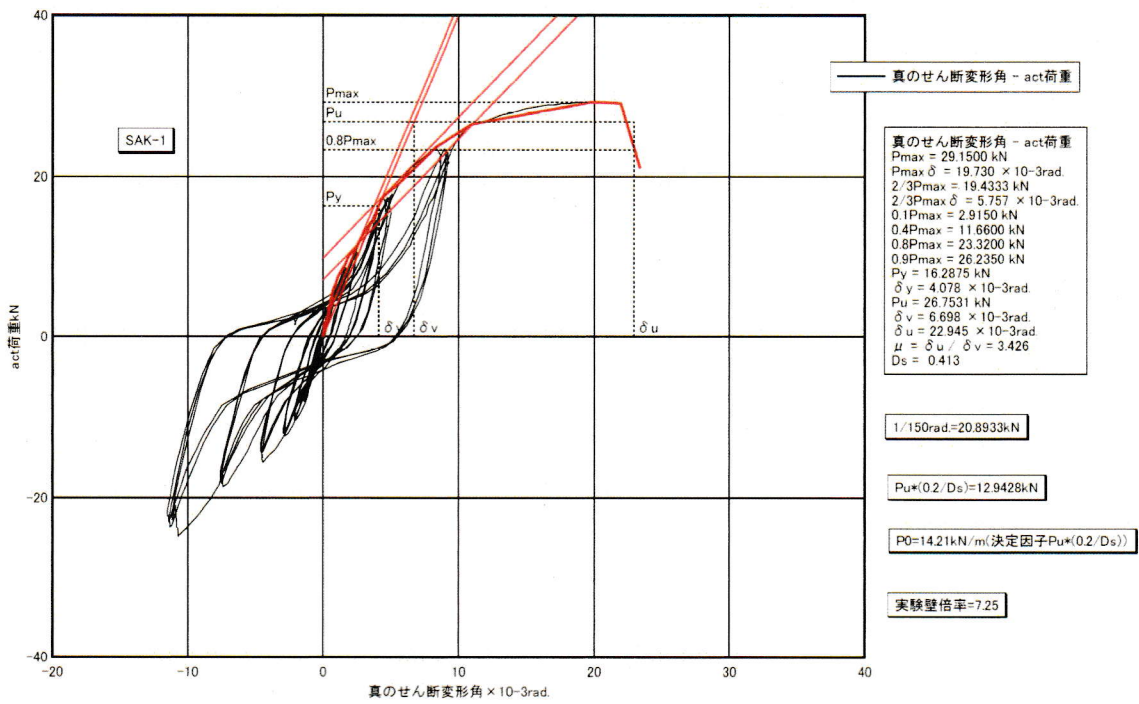


図 5.2.1 試験体 SAK - 1 完全弾塑性モデル

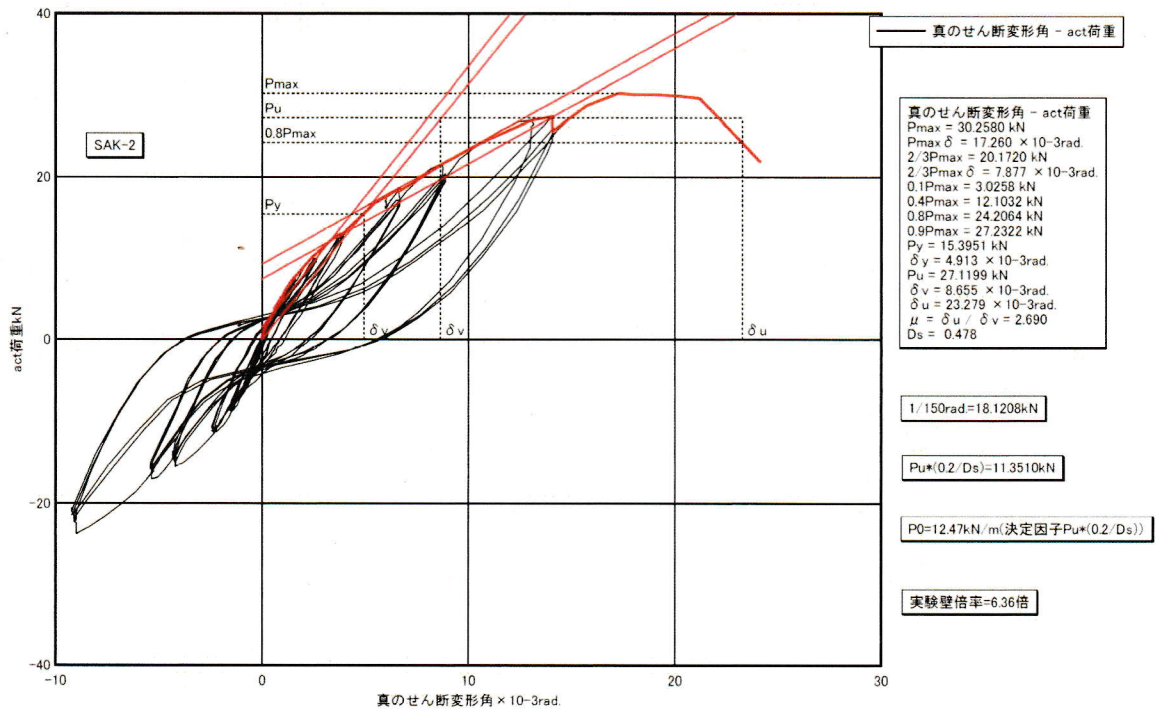


図 5.2.2 試験体 SAK - 2 完全弾塑性モデル

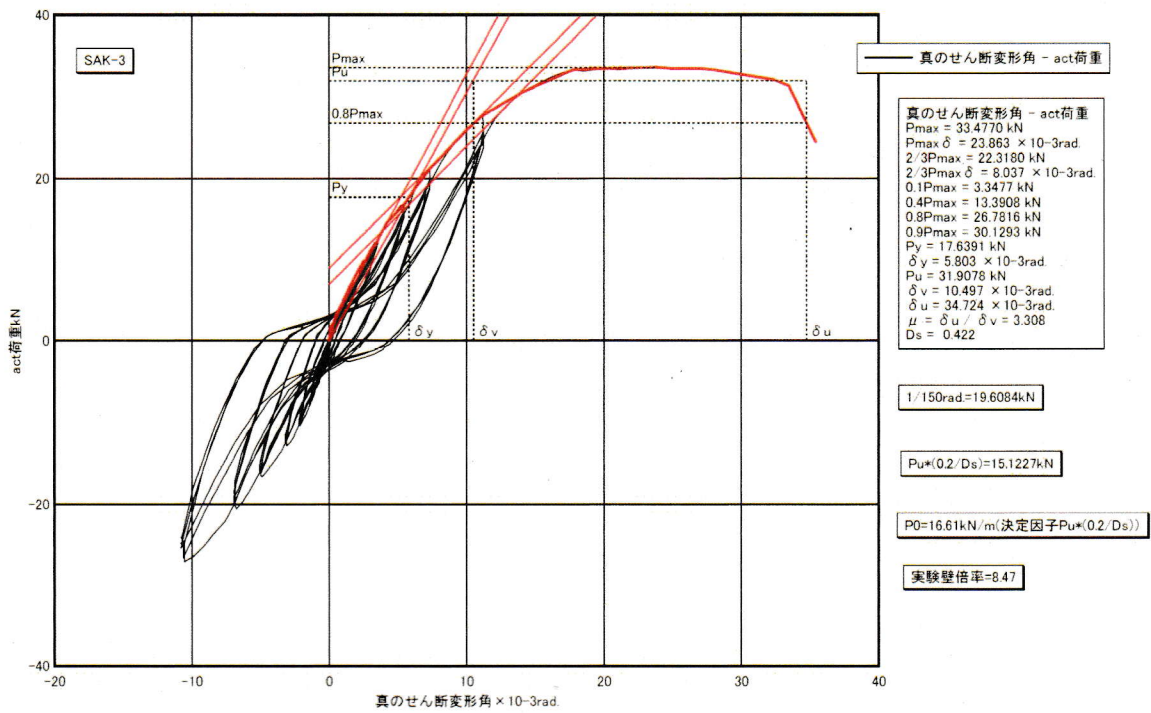


図 5.2.3 試験体 SAK - 3 完全弾塑性モデル

6. まとめ

6. 1 各試験体の破壊概要

全ての試験体において、1/100rad 変形時以降、SANJIKU 金物（筋かい金物）の変形及び面材釘のめり込みが確認できた。

また、最終変形時には圧縮側筋かきの座屈破壊が確認でき、試験体 SAK-2、SAK-3 においては、筋かきの座屈破壊と同時に間柱の割れも確認できた。

全ての試験体において、柱脚、柱頭の浮き上がり及びめり込みが確認できた。

試験体 SAK-2、SAK-3 において、柱脚が引張となる柱が、土台－SANJIKU 金物留め付けの釘により土台の割れが生じた。

6. 2 実験壁倍率及び決定因子

SAK 仕様の 3 体バラツキを考慮した実験壁倍率は 6.86 倍 となり、決定因子は $P_u(0.2/D_s)$ であった。

なお、この実験壁倍率には、耐力に影響を及ぼす係数 α は掛かっていないものである。

表 6.2.1 試験体仕様 SAK - 1 ~ 3 のばらつきを考慮した実験壁倍率及び決定因子

SAK- 1~3	平均値	標準偏差	K(n=3)	ばらつき係数	50%下限値
2/3Pmax [kN]	20.641	1.498	0.471	0.966	19.935
降伏耐力Py [kN]	16.441	1.130	0.471	0.968	15.908
$P_u(0.2/D_s)$ [kN]	13.139	1.893	0.471	0.932	12.247
真P1/150rad [kN]	19.541	1.387	0.471	0.967	18.887
実験壁倍率 (決定因子)					6.86 ($P_u(0.2/D_s)$)